



Titre: Méthodologie d'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques -
Title: Application à une chaîne logistique d'un produit aéronautique

Auteur: Othmane Dayi
Author:

Date: 2019

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Dayi, O. (2019). Méthodologie d'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques -
Citation: Application à une chaîne logistique d'un produit aéronautique [Thèse de doctorat, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/3995/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/3995/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Christian Mascle, & Roland Malhamé
Advisors:

Programme: Génie mécanique
Program:

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**Méthodologie d'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques - application à une
chaîne logistique d'un produit aéronautique**

OTHMANE DAYI

Département de génie mécanique

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de *Philosophiæ Doctor*

Génie mécanique

Mai 2019

© Othmane Dayi, 2019.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Cette thèse intitulée :

Méthodologie d'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques - application à une chaîne logistique d'un produit aéronautique

présentée par **Othmane DAYI**

en vue de l'obtention du diplôme de Philosophiæ Doctor

a été dûment acceptée par le jury d'examen constitué de :

Luc BARON, président

Christian MASCLE, membre et directeur de recherche

Roland MALHAME, membre et codirecteur de recherche

Bruno AGARD, membre

Yvan BEAUREGARD, membre externe

DÉDICACE

À la mémoire de mon père Abdelhaq disparu trop tôt.

REMERCIEMENTS

Les travaux de recherche présentés dans cette thèse ont été réalisés à Polytechnique Montréal dans le département de génie mécanique. Le projet n'aurait pu aboutir sans le soutien et l'encadrement de plusieurs personnes auxquelles je suis particulièrement reconnaissant.

Avant toute chose, je tiens à exprimer mes sincères remerciements, ma reconnaissance et ma gratitude à mon directeur de recherche, Monsieur Christian Mascle, pour m'avoir accordé sa confiance, pour m'avoir guidé, conseillé et encouragé au cours de ces quatre dernières années. Je vous remercie aussi pour votre patience.

Mes remerciements vont également à mon co-directeur de recherche, Monsieur Roland Malhamé, pour avoir partagé, sans égards, sa vision et ses connaissances qui m'ont permis d'évoluer pour mener à bien ces travaux de recherche.

Je voudrais remercier le professeur Luc Baron d'avoir accepté d'être président du jury. Je tiens à remercier les professeurs Bruno Agard et Yvan Beauregard d'avoir accepté d'agir à titre de membres du jury. Je remercie également le professeur Lahcen Saydy pour sa participation à ce jury comme représentant des études supérieures.

Je remercie cordialement les membres de la firme participante pour leurs disponibilités et pour m'avoir fourni les informations nécessaires à la réalisation de ce projet. Mes discussions avec Hicham, Judy, Tracy, Pierre, Laura et Jawad m'ont beaucoup apporté. Je remercie donc toutes ces personnes.

À titre plus personnel, je remercie chaleureusement mes amis Kamal, Youssef, El Mehdi, Camélia, Oualid, Samia, Isseu, Angela, Claudia, Daphnée et Nicolas pour leur gentillesse, leur aide et leur humour. Nous avons partagé de très bons moments.

Un remerciement spécial à ma grand-mère, à ma mère et à ma sœur pour leur soutien inconditionnel et leur patience sans limites tout au long de mes études doctorales.

Enfin toute cette aventure n'aurait pas été pareille sans Firdaous, ma Chrina, ma meilleure amie et mon épouse. Je te remercie d'avoir été à mes côtés, de m'avoir écouté, de m'avoir supporté et de m'avoir encouragé pendant toutes années. Merci pour tous tes sacrifices.

Othmane Dayi

RÉSUMÉ

Suite à l'évolution continue de l'industrie manufacturière et à la mondialisation des marchés, la compétitivité entre les différents acteurs du marché est poussée aux limites. D'un côté, les clients ne se contentent plus d'un produit standard à faible coût, mais exigent des produits personnalisés qui correspondent à leur besoin. D'un autre côté, il y a la vulnérabilité de l'environnement industriel face à des événements comme l'interruption de l'approvisionnement, la carence des fournisseurs, le changement des régulations internationales, la variabilité de la demande, la fiabilité de l'information, etc. Ces perturbations entravent le bon déroulement des opérations de la chaîne logistique et engendrent ainsi des résultats néfastes sur sa performance. Par conséquent, un nouveau mode de gestion de la chaîne logistique présente, actuellement, un enjeu important.

La littérature a montré l'évidence de passer d'une gestion traditionnelle, qui se concentre sur la recherche de solutions stationnaires en minimisant les coûts opérationnels et en considérant des réseaux d'approvisionnement centralisés, à une gestion agile, qui consiste à créer de plus en plus de partenariats et des réseaux, à renforcer la confiance entre les acteurs, à répondre en temps réel aux besoins des clients et à savoir adapter rapidement sa stratégie pour atteindre ses objectifs malgré les aléas d'un environnement de marché turbulent.

À la lumière de ces éléments, la présente thèse consiste à développer une nouvelle méthodologie d'amélioration de l'agilité dans une chaîne logistique pour qu'elle s'adapte aux différents changements perçus dans l'environnement industriel. Bien que plusieurs travaux ont montré que l'utilisation de la gestion agile de la chaîne logistique permet de répondre aux défis de l'environnement industriel, il existe des lacunes et des confusions entre les termes « Agilité », « Flexibilité », « Réactivité » et « Adaptabilité », ou ne couvrent pas l'ensemble des dimensions de la chaîne logistique. Nous répondrons à ces lacunes en proposant un nouveau cadre d'analyse permettant de définir les éléments clés de l'agilité, à savoir, les facteurs-conducteurs et leurs dimensions, les objectifs, les niveaux et les leviers d'améliorations de l'agilité dans la chaîne logistique.

Après une description rigoureuse du principe d'agilité de la chaîne logistique et en considérant la multitude des principes d'amélioration de l'agilité, il n'est pas simple pour une entreprise de déterminer les initiatives d'améliorations appropriées qui assurent une meilleure performance de la chaîne logistique, ainsi que les actions à réaliser pour atteindre le niveau d'agilité souhaité.

Pour répondre à cette problématique, cette thèse propose une méthodologie d'amélioration de l'agilité. Cette méthode est constituée d'une étape préparatoire d'évaluation qui permet d'évaluer le niveau d'agilité global d'une chaîne logistique quelconque. À la suite de cette évaluation, une démarche d'intégration des principes d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique sur ses trois niveaux (coté-fournisseur, intra-organisationnel et coté-client) est élaborée. Cette démarche vise à comprendre le mécanisme d'amélioration par l'utilisation de chacun des leviers d'amélioration et à déterminer leur impact sur la performance. En d'autres termes, la méthodologie proposée soutient et guide les utilisateurs dans l'évaluation du niveau d'agilité et dans la détermination de la contribution, la capacité d'influence et de dépendance de chaque levier d'amélioration le but de choisir les meilleures pratiques pour atteindre la performance souhaitée.

La méthodologie proposée est expérimentée à une chaîne logistique d'un produit X chez notre partenaire industriel. L'application de cette dernière révèle la nécessité d'améliorer deux leviers importants : 1/ les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données, et 2/ la stratégie d'approvisionnement.

Après plusieurs entretiens avec l'équipe de transformation dédiée à la réalisation de ce projet, le premier levier est amélioré par la création d'un environnement commun pour la collaboration qui permet de réduire les délais de traitement des requêtes. En ce qui concerne le deuxième levier, une stratégie optimale d'approvisionnement dans le contexte agile est développée, et permet de sélectionner les fournisseurs et de déterminer la quantité optimale à commander auprès de chacun des fournisseurs sélectionnés avec la possibilité de réajuster cette quantité au début de chaque période de lancement d'ordre d'approvisionnement.

Les contributions originales de cette thèse peuvent être répertoriées en plusieurs niveaux, notamment :

- Au niveau conceptuel, un nouveau cadre d'analyse permettant d'analyser les facteurs-conducteurs, les objectifs et les leviers d'améliorations de l'agilité sur les trois niveaux de la chaîne logistique est développé.
- Au niveau méthodologique, une nouvelle méthode d'amélioration de l'agilité est développée. Cette méthodologie structurée d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique permet d'évaluer le niveau de l'agilité à partir des changements perçus dans l'environnement industriel tout en prenant en compte le comportement incertain et

imprécis des évaluateurs et de guider les industriels dans la sélection de meilleures pratiques d'agilité pour atteindre une performance souhaitée. La méthodologie a été appliquée chez notre partenaire industriel et a permis de générer de premiers résultats.

- Au niveau stratégique, une nouvelle stratégie optimale de gestion des approvisionnements est développée et a montré sa performance économique.

ABSTRACT

As a result of the continuous evolution of the aeronautic industry and the globalization of markets, competitiveness between the various market players is being pushed to the limits. Customers' expectations are no longer met with standard low-cost product. Making customization a necessity in an environment that is subject to various sources of vulnerability such as supply disruptions, supplier shortages, changes in international regulations, demand variability, information reliability, etc. These disruptions affect the supply chain operation flow and thus generate a negative impact on the supply chain performance. Therefore, a new mode of managing the supply chain presents, currently, a major challenge.

The literature has shown the need to move from traditional management, which focuses on finding stationary solutions by minimizing operational costs and considering centralized supply networks, to agile management. The latter consists of creating more and more partnerships and networks, building trust between players, responding in real time to customer needs and being able to quickly adapt its strategy to achieve its objectives in a volatile environment.

In the light of these elements, the present thesis consists of developing a new methodology for the integration of agility improvement principles in a supply chain that is adapted to the industrial environment. Although several studies have shown that the use of agile supply chain management to meet the challenges of the industrial environment, there are gaps and confusion between the terms "Agility", "Flexibility", "Reactivity" and "Adaptability", or does not cover all dimensions of the supply chain. In this context, this thesis fills these gaps by proposing a new analytical framework to define the key elements of agility, namely, supply chain agility drivers, objectives and enablers.

After a rigorous description of the supply chain agility paradigm and considering the multitude of agility enablers, it is not easy for a company to identify appropriate improvement initiatives that ensure better supply chain performance, as well as the actions to be taken to achieve the desired level of agility.

To address this issue, this thesis proposes a methodology composed of a preliminary evaluation step that aims to assess the overall level of supply chain agility. Based on this evaluation, an approach is developed to integrate the supply chain agility improvement initiatives. This approach aims to understand the improvement mechanism by using each of the improvement enablers and

to identify their impact on the performance. In other words, the proposed methodology supports and guides users in assessing the level of agility, determining the contribution of each enabler, as well as their influence and dependence in order to choose the best practices to achieve the desired performance.

Moreover, the proposed methodology is tested in a supply chain of a product X at the industrial partner's site. The latter application reveals the need to improve two important enablers: 1/ database management and integration systems, and 2/ procurement strategy. After several discussions with the team in charge of carrying out this project, the first enabler is improved by creating a common environment for collaboration that reduces the time required to process requests. For the second enabler, an agile procurement strategy is developed. This strategy selects suppliers and identifies the optimal quantity to order from each of the selected suppliers with the possibility of readjusting the procurement quantity depending on real demand.

The original contributions of this thesis are presented below:

- On the conceptual level, a new analytical framework is developed to analyze supply chain agility drivers, objectives and enablers.
- On the methodological level, two new methods are developed. The first method aims to assess the agility based on the perceived changes in the industrial environment while considering the uncertain and imprecise behavior of the evaluators. The second is a structured methodology for integrating agility into supply chains. This developed methodology allows to guide manufacturers step by step in the process of selection of the best agility enablers to achieve a desired performance. The agility assessment and integration methodologies are applied to our industrial partner.
- Finally, a new agile procurement strategy is developed, and its economic performance has been proved.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VIII
TABLE DES MATIÈRES	X
LISTE DES TABLEAUX.....	XIV
LISTE DES FIGURES	XVII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XIX
LISTE DES ANNEXES	XX
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Mise en contexte.....	1
1.1.1 Spécificités de l'industrie aéronautique	1
1.1.2 La gestion de la chaîne logistique	4
1.2 Problématique de recherche	8
1.3 Objectifs de la recherche	10
1.4 Organisation de la thèse	10
CHAPITRE 2 ÉTAT DE L'ART.....	12
2.1 Introduction	12
2.2 L'agilité des chaînes logistiques	13
2.2.1 Cadre d'analyse	19
2.2.2 Méthode de recherche	27
2.2.3 Analyse de la littérature.....	33
2.2.4 Synthèse des résultats.....	51

2.3	Les méthodes d'amélioration des processus	63
2.4	Les méthodes d'évaluation de l'agilité.....	69
2.4.1	Les méthodes basées sur un calcul exact du niveau d'agilité	69
2.4.2	Les méthodes basées sur une estimation du niveau d'agilité	70
2.4.3	Synthèse des résultats.....	76
2.5	Les stratégies d'approvisionnement	79
2.6	Discussion et conclusion	81
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE D'AMÉLIORATION DE L'AGILITÉ DES CHAÎNES LOGISTIQUES.....		85
3.1	Introduction	85
3.2	Méthodologie proposée d'amélioration de l'agilité	85
3.3	Les étapes en amont	90
3.3.1	Créer l'équipe de transformation.....	90
3.3.2	Analyser la base de connaissance.....	90
3.3.3	Les échelles floues	95
3.4	L'étape « Planifier »	98
3.4.1	Sélectionner les facteurs-conducteurs de l'agilité	98
3.4.2	Évaluer l'agilité de la chaîne logistique	98
3.4.3	Déterminer le niveau d'agilité souhaité	105
3.4.4	Déterminer les contributions des leviers d'améliorations	105
3.4.5	Déterminer l'interdépendance entre les leviers d'amélioration	107
3.4.6	Déterminer la capacité d'influence et la dépendance des leviers d'amélioration	111
3.5	L'étape « Développer »	114
3.5.1	Déterminer les leviers d'amélioration à prioriser.....	114
3.5.2	Développer les solutions d'améliorations	114

3.6	L'étape « Contrôler »	115
3.6.1	Contrôler l'impact des améliorations sur la performance de la chaîne logistique ...	115
3.7	L'étape « Agir »	115
3.7.1	Synthétiser les meilleures pratiques	115
3.8	Discussion et conclusion	115
CHAPITRE 4 ÉTUDE DE CAS.....		118
4.1	Introduction	118
4.2	Étapes en amont	118
4.2.1	Créer l'équipe de transformation.....	118
4.2.2	Analyser la base de connaissance.....	119
4.2.3	Les échelles floues	119
4.3	L'étape « Planifier »	119
4.3.1	Sélectionner les facteurs-conducteurs de l'agilité.....	119
4.3.2	Évaluer l'agilité de la chaîne logistique	120
4.3.3	Déterminer le niveau d'agilité souhaité	131
4.3.4	Déterminer les contributions des leviers d'amélioration.....	131
4.3.5	Déterminer l'interdépendance entre les leviers d'amélioration	133
4.3.6	Déterminer la capacité d'influence et la dépendance des leviers d'amélioration	140
4.4	L'étape « Développer »	144
4.4.1	Déterminer les leviers d'amélioration à prioriser.....	144
4.4.2	Développer les solutions d'améliorations	145
4.5	L'étape « Contrôler »	146
4.5.1	Contrôler l'impact des améliorations sur la performance de la chaîne logistique ...	146
4.6	L'étape « Agir »	146

4.6.1 Synthétiser les meilleures pratiques	146
4.7 Discussion et conclusion	146
CHAPITRE 5 STRATÉGIE OPTIMALE D'APPROVISIONNEMENT D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE AGILE	149
5.1 Introduction	149
5.2 La stratégie d'approvisionnement	150
5.2.1 Le problème d'approvisionnement.....	150
5.2.2 La stratégie proposée.....	152
5.3 Formulation du problème	154
5.3.1 Notation.....	154
5.3.2 Données	155
5.3.3 Hypothèses	155
5.3.4 Les variables de décision.....	156
5.3.5 L'objectif.....	157
5.3.6 Les contraintes.....	158
5.4 Approche de résolution	160
5.4.1 Problème 1 : Les quantités à approvisionner par fournisseur	162
5.4.2 Problème 2 : Les quantités à réserver par fournisseur	165
5.5 Illustration des résultats.....	166
5.6 Analyse des résultats	168
5.7 Conclusion.....	170
CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	172
BIBLIOGRAPHIE	176
ANNEXES	199

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1: Définitions de l'agilité des chaînes logistiques	17
Tableau 2.2 : Synthèse des éléments analysés dans les revues de littérature sur l'agilité des chaînes logistiques.....	19
Tableau 2.3 : Stratégie de recherche rencontrée dans la revue de littérature	30
Tableau 2.4 : Éléments du formulaire d'extraction des données	32
Tableau 2.5 : Distribution des articles de la revue par journal.....	33
Tableau 2.6 : Synthèse des travaux par rapport aux dimensions du cadre d'analyse	51
Tableau 2.7 : Liste des facteurs-conducteurs de l'agilité	57
Tableau 2.8 : Liste des objectifs de l'agilité.....	59
Tableau 2.9 : Liste des leviers d'amélioration de l'agilité	61
Tableau 2.10 : Synthèse des méthodes d'évaluation de l'agilité.....	77
Tableau 3.1 : Base de connaissances des facteurs-conducteurs	92
Tableau 3.2 : Base de connaissances des objectifs.....	93
Tableau 3.3 : Base de connaissances des leviers d'amélioration	94
Tableau 3.4 : Échelle d'évaluation des niveaux de changement.....	96
Tableau 3.5 : Échelle d'évaluation des relations	96
Tableau 3.6 : Échelle d'évaluation de la performance des leviers d'amélioration.....	97
Tableau 3.7 : Échelle d'évaluation du niveau d'agilité	97
Tableau 3.8 : Échelle d'évaluation de la force de relation entre les leviers d'amélioration	97
Tableau 4.1 : Facteurs utilisés dans la méthodologie d'amélioration de l'agilité	120
Tableau 4.2 : Degré de changement des facteurs-conducteurs par l'évaluateur <i>E1</i>	121
Tableau 4.3 : Impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs par l'évaluateur <i>E1</i>	122
Tableau 4.4 : Fonctions d'appartenance de l'impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs.	123

Tableau 4.5 : Limites inférieures et supérieurs de la coupe α des fonctions d'appartenance $wj1$ et $ij31$	125
Tableau 4.6 : Résultats des limites inférieures et supérieurs de la coupe α de $u31$	125
Tableau 4.7 : Importance de chaque objectif par rapport à tous les facteurs-conducteurs.....	126
Tableau 4.8 : Impact des leviers d'amélioration sur les objectifs par l'évaluateur $E1$	126
Tableau 4.9 : Importance de chaque levier d'amélioration par rapport à tous les objectifs.....	127
Tableau 4.10 : Performance des leviers d'amélioration.....	127
Tableau 4.11 : Importance relative moyenne des leviers d'amélioration	128
Tableau 4.12 : Performance moyenne des leviers d'amélioration	128
Tableau 4.13 : Valeurs des fonctions d'appartenance à comparer	130
Tableau 4.14 : Leviers d'amélioration utilisés dans l'étude de cas.....	131
Tableau 4.15 : Classement des contributions des leviers d'amélioration	132
Tableau 4.16 : Matrice d'interaction entre les leviers d'amélioration	134
Tableau 4.17 : Matrice initiale d'accessibilité	135
Tableau 4.18 : Matrice finale d'accessibilité	136
Tableau 4.19 : Itération n°1 du partitionnement de la matrice d'accessibilité	137
Tableau 4.20 : Itération n°2 du partitionnement de la matrice d'accessibilité	137
Tableau 4.21 : Itération n°3 du partitionnement de la matrice d'accessibilité	138
Tableau 4.22 : Itération n°4 du partitionnement de la matrice d'accessibilité	138
Tableau 4.23 : Itération n°5 du partitionnement de la matrice d'accessibilité	138
Tableau 4.24 : Matrice floue des relations entre les leviers d'amélioration	140
Tableau 4.25 : Défuzzification de la matrice floue des relations	141
Tableau 4.26 : Matrice stabilisée floue des relations	142
Tableau 4.27 : Classement des leviers d'amélioration.....	145
Tableau 5.1 : Paramètres des fournisseurs.	166

Tableau 5.2 : Distribution de la demande	166
Tableau 5.3 : Quantités réservées de chaque fournisseur par période.	167
Tableau 5.4 : Comportement du niveau de stock à atteindre en fonction du coût unitaire de rupture	169
Tableau C.1 : Degré de changement des facteurs-conducteurs.....	218
Tableau C.2 : Impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs	218
Tableau C.3 : Importance de chaque objectif par rapport à tous les facteurs-conducteurs	219
Tableau C.4 : Impact des leviers d'amélioration sur les objectifs	219
Tableau C.5 : Degré de changement des facteurs-conducteurs.....	220
Tableau C.6 : Impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs	220
Tableau C.7 : Importance de chaque objectif par rapport à tous les facteurs-conducteurs	221
Tableau C.8 : Impact des leviers d'amélioration sur les objectifs	221

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Schéma général d'une chaîne logistique [adapté de (Lee, H. L. & Billington, 1993)]	5
Figure 1.2 : Flux dans une chaîne logistique [adapté de (Hammami, 2003)]	6
Figure 1.3 : Niveaux décisionnels d'une chaîne logistique [adapté de (Stadtler & Kilger, 2002)] .	7
Figure 2.1: Niveaux organisationnels de l'agilité [adapté de (Kettunen, 2012)]	16
Figure 2.2 : Cadre d'analyse de la littérature de l'agilité des chaînes logistiques	23
Figure 2.3 : Méthodologie de la revue de la littérature	28
Figure 2.4 : Processus de sélection des articles.....	31
Figure 2.5 : Distribution des articles de la revue par année de publication	34
Figure 2.6 : Nombre total d'articles traitant chaque dimension du cadre d'analyse	55
Figure 2.7 : Nombre d'articles traitant les différents types de facteurs-conducteurs.....	56
Figure 2.8 : Nombre d'articles traitant les différents objectifs de l'agilité	58
Figure 2.9 : Nombre d'articles traitant les types des leviers d'amélioration de l'agilité	60
Figure 2.10 : Nombre d'articles traitant chaque type de stratégies.....	62
Figure 2.11 : Nombre d'articles traitant les actions dans chacune des stratégies	63
Figure 2.12 : Phases du cycle PDCA. [adapté de (Silva et al., 2017)].....	68
Figure 2.13 : Comparaison des cycles des démarches PDCA, DMAIC et RADAR [adapté de (Sokovic et al., 2010)]	69
Figure 2.14 : Fonction d'appartenance triangulaire	73
Figure 3.1 : Principales étapes de la méthodologie d'amélioration	87
Figure 3.2 : Méthodologie d'amélioration de l'agilité	89
Figure 3.3 : Méthodologie d'évaluation de l'agilité.....	99
Figure 3.4 : Méthodologie de détermination des interdépendances entre les leviers d'amélioration	108
Figure 3.5 : Méthode de détermination des capacités d'influence et de dépendance	112

Figure 4.1 : Graphe d'antériorité entre les leviers d'amélioration	139
Figure 4.2 : Diagramme d'influence et de dépendance des leviers d'amélioration	143
Figure 5.1 : Chaîne d'approvisionnement étudiée	151
Figure 5.2 : Caractéristiques des fournisseurs sur une période	152
Figure 5.3 : Séquence des événements d'approvisionnement	153
Figure 5.4 : Sous-objectifs du problème d'approvisionnement	161
Figure 5.5 : Algorithme de résolution du problème 1	165
Figure 5.6 : Comparaison des coûts moyens des stratégies	168
Figure 5.7 : Comparaison des coûts moyens des stratégies	170

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AA	Assemblage automatisé
CAO	Conception assistée par ordinateur
CAPP	Computer-Aided Process planning
CAT	Computer Aided Testing
CPFR	La collaboration dans la planification, la prévision et le réapprovisionnement
EASA	European Aviation Safety Agency
EDI	Échange de données informatisé
ERP	Enterprise resource planning
FAA	Federal Aviation Regulation
FAO	Fabrication assistée par ordinateur
GA	Gestion de l'approvisionnement
GD	Gestion de la demande
GOI	Gestion de l'organisation et de l'information
GP	Gestion de la production
JIT	Juste-à-temps
MQT	Management par la qualité totale
MRO	Maintenance, Repair and Overhaul
PGI	Progiciel de gestion intégré
QFD	Quality Function Deployment
TCCA	Transport Canada Civil Aviation
TI	Technologies de l'information
TIC	Technologie de l'information et de la communication

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – LISTE DE RÉFÉRENCES DE LA REVUE DE LITTÉRATURE SYSTÉMATIQUE SUR L’AGILITÉ DES CHÂÎNES LOGISTIQUES	199
ANNEXE B – FORMULAIRE D’ÉVALUATION DE L’AGILITÉ.....	211
ANNEXE C – RÉSULTATS DE L’ÉVALUATION DE L’AGILITÉ	218
ANNEXE D – PREUVE DE LA PROPOSITION 5.1	222

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Pour répondre aux besoins grandissants des clients dans un marché concurrentiel, une entreprise doit être capable de gérer sa chaîne logistique de façon optimale afin de satisfaire la demande de ses clients en termes de volume, de délais et de qualité tout en ayant un contrôle optimal sur ses coûts opérationnels.

L'objectif de ce chapitre est de présenter le contexte, les enjeux et les motivations de notre projet de recherche. Dans un premier temps, nous présenterons le contexte particulier de l'industrie aéronautique en traitant les trois dimensions importantes de cette industrie, soient la nature des produits, la nature du marché, et la nature de la production. Puis nous présenterons les principaux enjeux de la planification de la chaîne logistique. Par la suite, nous explicitons la problématique générale ainsi que les objectifs de recherche. Pour conclure, nous présentons l'organisation de la présente thèse.

1.1 Mise en contexte

1.1.1 Spécificités de l'industrie aéronautique

1.1.1.1 La nature du produit

Premièrement, un produit aéronautique (avion) a une durée de vie de l'ordre de 25 à 30 ans pour un appareil commercial et de l'ordre de 35 ans pour un avion de fret (Ravix & Mouchnino, 2009), ce qui est long en comparaison aux autres secteurs d'activités du domaine manufacturier (ex. 14 ans pour l'automobile (MacLean & Lave, 1998)).

Deuxièmement, étant donné la durée de développement d'un avion (une dizaine d'années), il faut plusieurs années avant de voir un nouveau modèle arriver sur le marché, ce qui impose aux constructeurs d'avions d'assurer un niveau de qualité très élevé afin que l'appareil puisse vieillir sans compromettre la sécurité de ses passagers. Plusieurs autorités (FAA aux États-Unis, TCCA au Canada, EASA en Europe) imposent un niveau de fiabilité et de sécurité des appareils aux constructeurs pour autoriser leurs vols, ce processus de certification représente une part importante des coûts de développement (17% des coûts de développement sont consacrés à la certification) (PIPAME, 2009).

Troisièmement, les produits aéronautiques sont d'une complexité élevée, cette complexité réside d'un côté dans le nombre de composants utilisés, ainsi que dans le nombre d'opérations d'assemblage (un Boeing 737 comporte 367000 composants d'assemblage excluant les câbles, les rivets et les boulons), d'un autre côté dans le grand nombre de matériaux qui doivent respecter les normes de sécurité strictes du secteur aéronautique.

Finalement, en ce qui concerne la variété des produits, nous remarquons que de plus en plus de variétés de produits sont exposées dans le marché. De plus, pour chaque série d'avions qui existe sur le marché, des milliers d'options permettent de faire de chaque avion un modèle unique en son genre, ce qui complique davantage la prévision de la demande.

1.1.1.2 La nature du marché

Le marché aéronautique mondial est un marché en croissance, les revenus du secteur des avions commerciaux ont connu une augmentation de 2.1% en 2017 et les experts prévoient une augmentation de 4,8% en 2018 (Lineberger, 2018). La demande des nouveaux avions commerciaux est estimée à 37400 avions neufs d'ici 2037 pour un total de 5800 milliards de dollars (Roy, 2018).

Le marché de la construction aéronautique se décompose en 3 principaux segments :

- le marché des constructeurs d'aéronefs;
- le marché des fabricants des structures et des moteurs;
- le marché des équipementiers (les systèmes électroniques de vol, les trains d'atterrissage, les sièges, les systèmes de sécurité, etc.).

En ne considérant que le marché des constructeurs d'aéronefs, ce dernier se décompose en 4 sous segments :

- le marché des avions moyens et long-courriers : il se compose des avions commerciaux dont la capacité est de 100 jusqu'à 600 passagers. Alors qu'Airbus (Europe) et Boeing (États-Unis) se partageaient ce marché auparavant, de nouveaux concurrents sont apparus dans ce segment du marché comme Bombardier (Canada) avec le C-séries, Comac (Chine) avec le C-919, et la Russie avec l'Irkout MS 21, ce qui rendra le marché encore plus concurrentiel ;

- le marché des avions régionaux : il se compose des avions commerciaux, dont la capacité n'excède pas les 100 passagers et assure des liaisons interrégionales. Ce marché est principalement partagé entre Bombardier, Embraer, et ATR ;
- le marché des avions d'affaires : il se compose des avions dont la capacité est d'environ 12 personnes, pour des trajets moyens de 3000 km. Les principaux acteurs de ce marché sont Bombardier, Gulf Stream, et Cessna ;
- le marché des hélicoptères civils dont Eurocopter, Bell, et Agusta sont les entreprises spécialisées de ce segment du marché.

En dehors de la construction aéronautique, un autre marché lié à la maintenance aéronautique MRO (Maintenance, Repair, and Overhaul) est aussi en croissance.

1.1.1.3 La nature de la production

L'industrie aéronautique a connu un changement au cours des dernières années, la complexité des produits et la mondialisation du marché ont poussé les OEM (Original Equipment Manufacturer) à repenser leurs modes de production.

Les OEM ont adopté une démarche modulaire, cette démarche comprend deux dimensions interdépendantes :

- Une vision centrée sur le produit (avion) : il s'agit de décomposer le produit en modules présentant des fonctions facilement identifiables avec des formes standards (fuselage, tableau de bord, avionique ...), cette modularité a pour but d'assurer une large variété d'assemblage, par exemple pour la famille A320 d'Airbus, nous pouvons distinguer plusieurs versions avec des caractéristiques différentes (A320-111, A320-200, ACJ320, A320-néo ...).
- Une vision centrée sur l'organisation de la modularité : Les OEM externalisent au maximum la fabrication auprès de leurs partenaires afin d'économiser du temps, de l'argent et partager les risques tout au long de la chaîne logistique.

Les principaux modules d'un avion sont : les ailes, le fuselage, les moteurs, les trains d'atterrissage, les équipements électriques et électroniques, les aménagements d'intérieur. Ces derniers sont

fabriqués par différents partenaires et acheminés vers l'assembleur final pour un assemblage en série.

1.1.2 La gestion de la chaîne logistique

1.1.2.1 Définitions de la chaîne logistique

Le terme « Chaîne logistique » vient du mot anglais « Supply chain » qui signifie « chaîne d'approvisionnement ».

Plusieurs définitions existent dans la littérature, nous citerons celles qui sont le plus adaptées au cas de nos travaux de recherche.

Christopher (1992) a défini la chaîne logistique comme étant un réseau d'entreprises qui participent, en amont (fourniture de matières et composants) et en aval (distribution), aux différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de produits et de services apportés au consommateur final.

Rota (1998) a défini la chaîne logistique comme étant un ensemble d'entreprises qui interviennent dans le processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime.

Dans leur article, Lummus et Vokurka (1999) ont défini la chaîne logistique comme étant « toutes les activités impliquées dans la livraison d'un produit fini depuis la matière première jusqu'au client, incluant l'approvisionnement de la matière première et des composants, la fabrication et l'assemblage, l'entreposage et le suivi des stocks, la saisie et la gestion des ordres de fabrication, la distribution à travers tous les canaux, la livraison jusqu'au client, et le système d'information nécessaire pour contrôler ces activités ».

D'après Genin (2003), une chaîne logistique est un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des processus et activités entre les fournisseurs et les clients.

Les chaînes logistiques sont donc des systèmes constitués de fournisseurs de matière première ou de composants, d'installations de production, de services de distribution et de clients (Stevens, 1989), nous illustrons la chaîne logistique dans la figure 1.1.

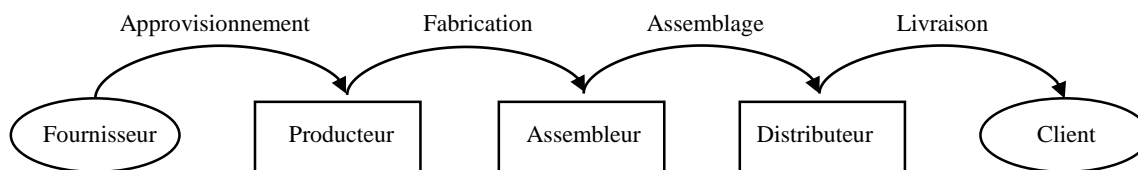


Figure 1.1 : Schéma général d'une chaîne logistique [adapté de (Lee, H. L. & Billington, 1993)]

1.1.2.2 Définitions de la gestion de la chaîne logistique

Auparavant, chaque partenaire de la chaîne logistique gérait ses approvisionnements, sa production et sa distribution de façon indépendante. Mais, les exigences des clients en matière de qualité requise du produit et de délais de livraison ont poussé les entreprises à revoir leurs méthodes de gestion et à penser à une gestion structurée de la chaîne logistique.

Comme pour le terme « Chaîne logistique », les chercheurs ont proposé plusieurs définitions de la gestion de la chaîne logistique, nous citerons celles qui sont le plus adaptées au cas de nos travaux de recherche.

Thomas et Griffin (1996) ont défini la gestion de la chaîne logistique comme étant la maîtrise des flux physiques et d'informations à l'intérieur et entre les sites tels que les points de vente, les centres de fabrication et d'assemblage, et les centres de distribution.

D'après Geunes et Chang (2009), la gestion de la chaîne logistique est « la coordination et l'intégration des activités d'une chaîne logistique dans le but d'atteindre un avantage compétitif durable. La gestion de la chaîne logistique englobe donc une large gamme de questions stratégiques, financières et opérationnelles ».

Dominguez et Lashkari (2004) ont défini la fonction de la gestion de la chaîne logistique comme étant « le fait de faciliter les ventes en positionnant correctement les produits dans les bonnes quantités, au bon endroit et au bon moment, au moindre coût possible », l'idée est d'utiliser efficacement les ressources (production, distribution, etc.) pour atteindre un niveau de satisfaction de client au plus bas prix.

1.1.2.3 Les flux dans une chaîne logistique

Afin de bien gérer la chaîne logistique, il est important de maîtriser les trois flux qui circulent dans une chaîne logistique. Les trois flux sont le flux physique, le flux d'information, et le flux financier (Hammami, 2003), comme le montre la figure 1.2.

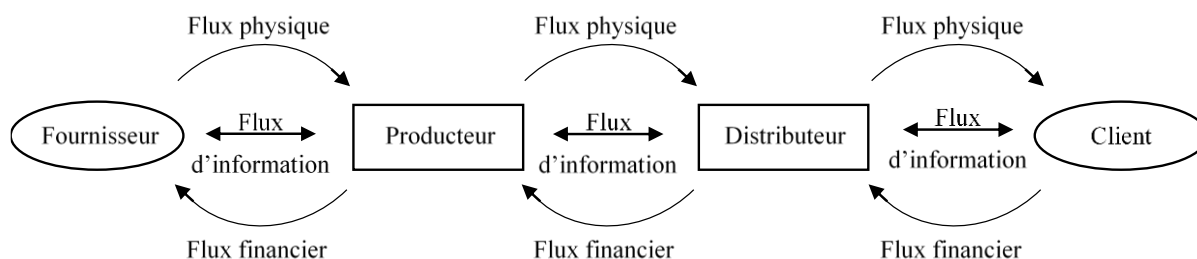


Figure 1.2 : Flux dans une chaîne logistique [adapté de (Hammami, 2003)]

Le flux physique, appelé aussi flux produit, traverse la chaîne logistique dans un seul sens, du fournisseur vers le client. Il décrit le mouvement des matières (matières premières, composants, produits finis) circulant entre les différentes installations de la chaîne logistique (Francois, 2007; Rota, 1998).

Le flux d'information rassemble les échanges de données et de décisions entre les différents acteurs de la chaîne logistique pour assurer un suivi et un contrôle dans la réalisation des objectifs souhaités. Ces données ou décisions sont soit de nature commerciale (référence des produits, quantité commandée, le prix, etc.), soit de nature technique (le niveau des stocks, le rendement du site, les capacités de transport, etc.) (Francois, 2007). C'est un flux qui est bidirectionnel, par exemple, le client peut informer son fournisseur sur les quantités à produire, et le fournisseur peut informer son client sur les retards possibles, etc. Plusieurs systèmes d'information permettent d'apporter une aide lors des échanges d'informations tels que l'ERP (Enterprise Resource Planning) ou l'EDI (Electronic Data Interchange).

Le flux financier, appelé aussi flux monétaire, représente le transfert de fonds entre les différents acteurs de la chaîne logistique lors des opérations d'achat de la matière première ou de composants, vente de produits, acquisition de l'entreprise de nouveaux équipements, salaire des employés, etc.

1.1.2.4 Les niveaux décisionnels

La gestion de la chaîne logistique passe par plusieurs phases, commençant par l'approvisionnement, passant en production et allant jusqu'à la distribution.

Dans chaque activité de gestion de la chaîne logistique, le décideur doit déterminer les paramètres pour optimiser les investissements engagés, réduire le coût du produit final, assurer la satisfaction du client, etc. Cette prise de décision est divisée en trois parties : le niveau stratégique, tactique et opérationnel. Elles correspondent respectivement à des horizons à long, moyen et court terme comme la montre la figure 1.3.

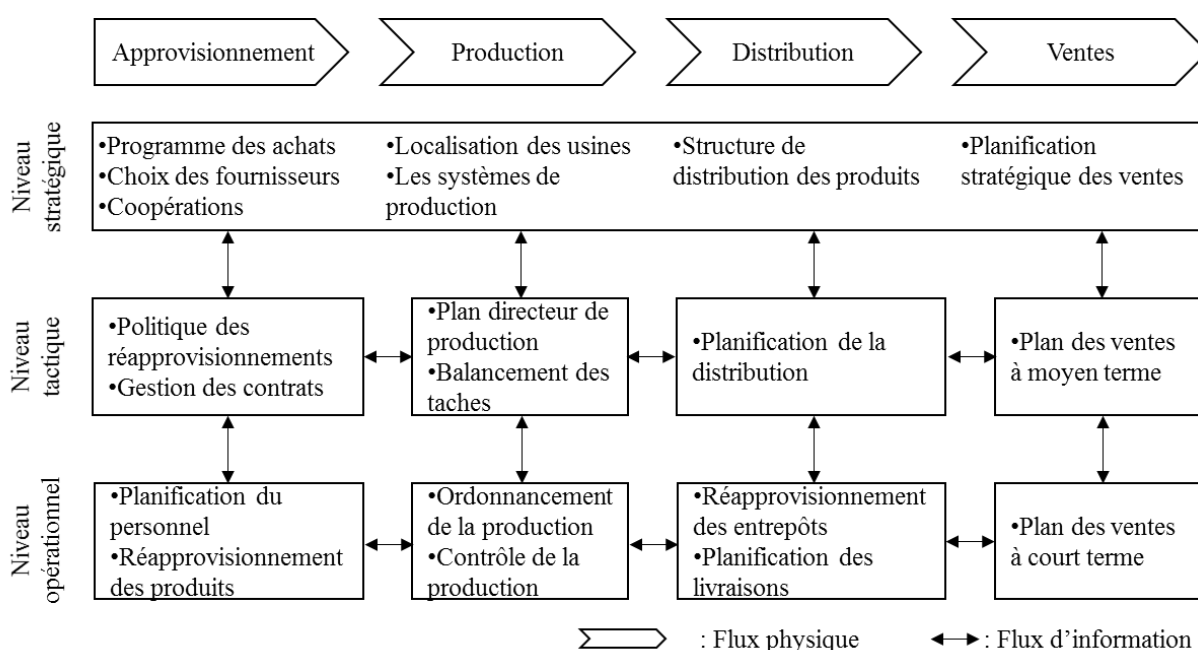


Figure 1.3 : Niveaux décisionnels d'une chaîne logistique [adapté de (Stadtler & Kilger, 2002)]

Le niveau stratégique, appelé aussi « Strategic planning » ou « Strategic management », englobe toutes les décisions stratégiques qui constituent la politique à long terme de l'entreprise (4 à 10 ans). Les décisions de gestion de la chaîne logistique au niveau stratégique concernent en premiers lieux le choix des fournisseurs, le positionnement ou la fermeture de nouveaux sites de production ou d'entrepôt, le calcul des niveaux de capacité des usines et entrepôts, l'investissement dans des équipements pour l'usine ou l'entrepôt, le choix des réseaux et prestataires de transport et finalement le choix du type de gestion de production (Galasso, 2007; Kaddoussi, 2012).

Le niveau tactique regroupe les décisions à moyen terme (quelques semaines à quelques mois) pour développer la stratégie décidée par l'entreprise et concerne la coordination des opérations entre les différents acteurs en tenant compte des ressources disponibles (Galasso, 2007; Kaddoussi, 2012). Selon Bouchriha (2002), trois types de coordinations existent :

- le premier type est la coordination entre un client et un fournisseur, telles que la définition des tailles des lots, la définition des points de commandes, la définition des délais moyens d'approvisionnement et la définition des niveaux de stocks.
- Le deuxième type traite la coordination entre la production et la distribution, telle que la détermination de la taille des lots de production, la détermination des délais moyens de production et la détermination du niveau du stock des produits semi-finis.
- Le troisième type consiste à coordonner l'interface entre le stock et la distribution, telle que la détermination de la taille des lots d'expédition, la détermination de la politique de distribution et la détermination du niveau du stock des produits finis.

Le niveau opérationnel consiste à suivre en temps réel les décisions tactiques au niveau d'une seule installation, ceci se manifeste par l'ordonnancement quotidien, l'équilibrage et la correction des unités de stockage, le balancement de la main d'œuvre, etc.

1.2 Problématique de recherche

Jusqu'à la fin des années 1990, la gestion des chaînes logistiques s'est concentrée sur la recherche de solutions stationnaires en minimisant les coûts opérationnels (Chibani, Delorme, Dolgui, & Pierreval, 2018), et en considérant des réseaux d'approvisionnement centralisés (Oh, Ryu, & Jung, 2013) puisque la chaîne logistique était statique et simple (Burnes & New, 1996), cette logique de gestion n'est plus nécessairement le meilleur choix.

De nos jours, la mondialisation des marchés a fait que la compétitivité est poussée aux limites, et les clients ne se contentent plus d'un produit standard à faible coût, en outre, des produits personnalisés qui correspondent aux besoins de chacun d'eux sont de plus en plus exigés. Par conséquent, les entreprises veillent à ce que leurs clients reçoivent plusieurs variétés de produits, en respectant leurs exigences en matière de qualité requise du produit et du délai de livraison (Dayi & Mascle, 2015), le tout à des prix défiant toute concurrence.

Ces changements dans l'environnement des marchés ne sont pas sans risques. Plusieurs perturbations telles que l'interruption de l'approvisionnement (Oke & Gopalakrishnan, 2009), la perte d'un fournisseur (Sheffi & Rice, 2005), le changement des réglementations internationales (Oh et al., 2013), la variabilité de la demande (Kleindorfer & Saad, 2005), la fiabilité de l'information (Rao & Goldsby, 2009), etc., entravent la continuité de l'approvisionnement compte tenu de la sévérité et de l'étendue de leurs impacts ainsi que de leurs durées dans le temps, ce qui détériore rapidement la satisfaction des clients.

Pour faire face aux différents risques et à la dynamique actuelle de l'environnement industriel, de nouvelles méthodes de gestion des processus ont été développées, dans le but d'améliorer l'efficacité et l'effectivité de la chaîne d'approvisionnement. Plusieurs chercheurs (Ben Naylor, Naim, & Berry, 1999; Christopher, 2000; DeGroote & Marx, 2013; Fayezi, Zutshi, & O'Loughlin, 2017; Gligor, Esmark, & Holcomb, 2015; Ivanov, 2010; Jackson & Johansson, 2003; Kidd, 1995; Mason-Jones, Naylor, & Towill, 2000a, 2000b; Mehralian, Zarenezhad, & Rajabzadeh Ghatari, 2015; Rico, 2010; Sabu & Krishnankutty, 2014; Wernham, 2012; White, Daniel, & Mohdzain, 2005) ont montré l'évidence de passer de la gestion traditionnelle (assurer le mouvement du flux physique à moindre coût), à une gestion qui consiste à créer de plus en plus de partenariats et des réseaux, à renforcer la confiance entre les acteurs, à être attentif aux demandes de changements du client et à savoir adapter rapidement sa stratégie pour atteindre ses objectifs dans un environnement volatile. En d'autres termes, intégrer l'agilité dans la gestion de la chaîne logistique.

Malgré le nombre important de publications sur l'agilité des chaînes logistiques manufacturières et la reconnaissance des chercheurs de l'intérêt de l'agilité, plusieurs problématiques ont été décelées.

Premièrement, il existe des lacunes et des confusions dans la littérature entre « Agilité », « Flexibilité », « Réactivité » et « Adaptabilité », ou ne couvrent pas l'ensemble des dimensions de la chaîne logistique (ex. (Dubey et al., 2018); Katayama et Bennett (1999) ont défini l'adaptabilité et l'agilité comme étant deux aspects indépendants, alors que Lemieux, Pellerin, Lamouri et Carbone (2012) ont défini l'adaptabilité comme un objectif de l'agilité).

Deuxièmement, beaucoup de travaux proposant des approches d'évaluation de l'agilité se concentrent uniquement sur la performance des leviers d'amélioration tout en ignorant l'évaluation des besoins d'agilité par rapport aux changements dans l'environnement industriel. De plus, la

prise en compte de l'incertitude et de l'imprécision chez plusieurs évaluateurs dans le calcul de l'indice de l'agilité est un aspect peu utilisé dans la détermination du niveau d'agilité de la chaîne logistique.

Troisièmement, la revue de littérature montre le besoin de développer une méthode structurée d'amélioration de l'agilité dans la chaîne logistique.

Finalement, les chaînes logistiques aéronautiques se caractérisent par une fréquence élevée et imprévisible de demandes urgentes et de changement de cadence; le développement d'une stratégie optimale d'approvisionnement dans ce contexte permettra de répondre efficacement à différents types de demande (ex. demandes urgentes ...) tout en optimisant les coûts logistiques. En plus du gain des coûts logistiques, la satisfaction des clients sera aussi assurée.

1.3 Objectifs de la recherche

L'objectif de cette thèse est de développer une méthodologie d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique ainsi que de développer une stratégie optimale d'approvisionnement agile pour faire face aux perturbations de l'environnement industriel.

Pour cela, les objectifs spécifiques de cette thèse sont les suivants :

- développer un cadre d'analyse permettant d'analyser tous les aspects de l'agilité dans toutes les dimensions de la chaîne logistique,
- développer une méthodologie d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique,
- développer une stratégie optimale d'approvisionnement agile pour faire face aux perturbations de l'environnement industriel aéronautique.

1.4 Organisation de la thèse

La thèse est organisée comme suit :

- Le deuxième chapitre propose une revue de littérature de plusieurs aspects. En premier lieu, un nouveau cadre d'analyse de l'agilité des chaînes logistiques est développé. Ce cadre d'analyse traite les facteurs-conducteurs, les objectifs et les leviers d'amélioration de l'agilité dans les trois dimensions de la chaîne logistique (le côté client, l'intra organisationnel et le côté fournisseur). Ensuite une revue de littérature sur les

méthodologies d'améliorations des processus est proposée. Dans toute démarche d'amélioration, la phase d'évaluation de l'existant est un des plus grands défis, pour cela une revue de littérature des travaux d'évaluation de l'agilité des chaînes logistiques est proposée. Finalement, une revue de littérature sur les stratégies d'approvisionnement multifournisseurs et multipériodes est présentée.

- Le troisième chapitre propose une méthodologie d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique dans laquelle une nouvelle méthodologie d'évaluation de l'agilité dans la chaîne logistique, basée sur l'approche d'aide à la décision QFD (Quality Function Deployment) pour traduire les changements de l'environnement industriel en leviers d'amélioration de l'agilité est proposée. Et pour faire face au comportement incertain et imprécis de plusieurs évaluateurs, une méthode d'agrégation des résultats de plusieurs évaluateurs est proposée pour calculer l'indice de l'agilité en utilisant la logique floue,
- Le quatrième chapitre propose une étude de cas de la méthodologie d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique d'un produit X chez notre partenaire industriel,
- Le cinquième chapitre propose une stratégie optimale d'approvisionnement agile dans le cas d'une chaîne logistique ayant une demande aléatoire,
- Le dernier chapitre fera l'objet d'une synthèse des résultats et propose des perspectives de recherche.

CHAPITRE 2 ÉTAT DE L'ART

2.1 Introduction

Pour faire face aux différents risques et à la dynamique actuelle de l'environnement industriel, de nouvelles méthodes de gestion des processus ont été développées, dans le but d'améliorer la performance de la chaîne logistique. L'évidence de passer à une gestion agile qui crée de plus en plus de partenariats et de réseaux, qui renforce la confiance entre les acteurs et qui permet l'écoute des changements demandés par le client a été discutée par plusieurs chercheurs. Ce chapitre consiste à analyser leurs propositions et présenter leurs limites pour bien situer la pertinence de nos travaux.

Avant de présenter les travaux d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique, il est important de comprendre les fondements du concept de l'agilité dans la chaîne logistique. Pour cela, nous présentons une revue de littérature systématique sur l'agilité au niveau des chaînes logistiques. En effet, nous allons développer un nouveau cadre d'analyse permettant de définir les éléments clés de l'agilité dans le but de combler les lacunes dans la littérature. Les résultats de cette revue de littérature sont les éléments d'entrées de la méthodologie d'amélioration de l'agilité développée.

En ce qui concerne les travaux d'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques, nous commençons par analyser les critères clés à considérer dans le développement d'une méthodologie d'amélioration des processus d'affaires, ensuite nous présentons les limites des méthodologies d'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques existantes. Une des étapes importantes dans les méthodes d'amélioration de l'agilité est l'évaluation du degré d'agilité. Il est donc essentiel d'analyser les travaux d'évaluation de l'agilité existants dans la littérature et de présenter leurs contributions et leurs limites.

Notre étude de cas auprès de notre partenaire industriel a mené au développement d'une nouvelle stratégie optimale d'approvisionnement. Dans ce contexte, un état de l'art des stratégies d'approvisionnement des produits non stratégiques dans le contexte agile est proposé.

Ce chapitre est organisé comme suit : la section 2.2 traite le concept de l'agilité en présentant le cadre d'analyse de l'agilité dans une chaîne logistique et en définissant les 4 aspects à analyser (les

facteurs-conducteurs¹, les objectifs, les niveaux et les leviers d'amélioration). La méthodologie de recherche (les mots-clés utilisés, les bases de données consultées, les critères d'analyse, etc.) est ensuite présentée, suivie d'une analyse de la littérature en suivant le cadre d'analyse et d'une synthèse sur les contributions de notre analyse. Les méthodes d'amélioration des processus d'affaires sont présentées à la section 2.3 suivie d'une revue générale des modèles d'évaluation de l'agilité de la chaîne logistique selon les approches utilisées, les méthodes de pointage et la nature des échelles à la section 2.4. La section 2.5 présente les différents travaux proposant des stratégies optimales pour répondre à un problème d'approvisionnement multi fournisseurs. Finalement, une conclusion est présentée à la section 2.6.

2.2 L'agilité des chaînes logistiques

Le déclin de l'industrie manufacturière des États-Unis et la perte de compétitivité face aux pays industrialisés d'Asie dans les années 1980 ont poussé le congrès des États-Unis et le département de la défense en collaboration avec l'université Lehigh à développer une nouvelle vision de l'industrie performante, et de transformer cette vision en réalité.

C'est ainsi que le concept d'« Agilité » a été introduit pour la première fois en 1991 par des chercheurs américains de l'institut Iacocca, de l'université Lehigh, à la suite d'ateliers collaboratifs avec plusieurs entreprises. En automne 1991, un rapport intitulé « 21st Century Manufacturing Enterprise Strategy » (Dove, Nagel, Goldman, & Preiss, 1991) a été publié et rassemble les caractéristiques de la fabrication agile.

Le concept d'agilité est l'élément clé dans la science de la compétitivité (Holsapple & Jin, 2007) et tient son origine du concept des systèmes de fabrication flexibles (Parthasarthy & Sethi, 1992). La différence entre ces deux concepts réside dans la prédiction des changements. **Les systèmes de fabrication flexibles passent d'un état à l'autre lorsque les changements sont prédéfinis, alors que l'agilité est la capacité de répondre rapidement aux changements imprévisibles de l'environnement du marché** (Goldman, Nagel, & Preiss, 1995).

¹ Facteurs-conducteurs : Ce qui amène les entreprises à devenir agile

Malgré le nombre important des travaux traitant de l'agilité, il n'existe aucune définition universelle ni un consensus des chercheurs sur ce que l'agilité signifie (Vázquez-Bustelo, Avella, & Fernández, 2007), cette confusion tient d'un côté du fait que l'agilité découle des concepts de la fabrication flexible, du « Lean Manufacturing » et du « Time-Based Competition » (Vázquez-Bustelo et al., 2007). D'un autre côté, l'aspect multidimensionnel de l'agilité fait en sorte que chaque chercheur élabore sa propre définition pour mettre en avant un aspect spécifique (stratégie, performance, technologie, processus, employés, connaissance, etc.). À cet effet, les définitions de l'agilité de la fabrication « Agile Manufacturing » les plus citées dans la littérature sont présentées ci-dessous dans l'ordre chronologique.

L'agilité a été initialement définie comme étant la capacité d'une entreprise à maintenir sa prospérité dans un environnement industriel imprévisible et en changement continu.

« The ability of an organization to thrive in a continuously changing, unpredictable business environment » (Dove et al., 1991).

L'agilité d'une entreprise est sa capacité de reconfigurer ses processus d'une manière rapide, adaptable et robuste. Les fondements d'une telle entreprise sont des processus et des structures appropriés, l'intégration des technologies de l'information, de l'organisation et des personnes dans le but d'acquérir une performance supérieure à celle qui est existante.

« An agile corporation is a fast moving, adaptable and robust business enterprise capable of rapid reconfiguration in response to market opportunities. Such a corporation is founded on appropriate processes and structures and the integration of technology, organization and people into a coordinated system in order to achieve a quantum leap forward in competitive performance by delivering capabilities that surpass those obtained from current enterprise practices » (Kidd, 1995).

Goldman et al. (1995) décrivent l'agilité comme un concept qui évolue d'une manière dynamique, spécifique à un contexte donné, valorise le changement et s'oriente vers la croissance. Pour les auteurs, l'agilité n'est pas l'amélioration de l'efficacité, la réduction des coûts ou la limitation des activités commerciales pour faire face à la concurrence, il s'agit de réussir et de gagner des profits,

des parts de marché et de fidéliser les clients même lorsque la concurrence est accrue entre les entreprises.

« Agility is dynamic, context specific, aggressively change embracing and growth oriented. It is not about improving efficiency, cutting costs, or battening down the business hatches to ride out fearsome competitive storms. It is about succeeding and about winning profits, market share and customers in the very center of competitive storms that many companies fear » (Goldman et al., 1995).

Pour Fliedner et Vokurka (1997), l'agilité est la capacité de mettre en marché des produits de haute qualité et à faible coût, avec des délais de livraison courts et des volumes variables qui offrent une valeur ajoutée aux clients grâce à la personnalisation.

« The ability to successfully market low-cost, high quality products with short lead times and in varying volumes that provide enhanced value to customers through customization » (Fliedner & Vokurka, 1997).

Selon Gunasekaran, A. (1999), l'agilité est la capacité de l'entreprise de survivre et de prospérer dans un environnement caractérisé par un changement continu et imprévisible, ces capacités sont régies par la demande des clients en termes de produits ou de services.

« Agile manufacturing can be defined as the capability of surviving and prospering in a competitive environment of continuous and unpredictable change by reacting quickly and effectively to changing markets, driven by customer-designed products and services » (Gunasekaran, A. , 1999).

Dans la même perspective, Katayama et Bennett (1999) ont défini l'agilité comme la capacité de satisfaire la demande variable des besoins des clients en termes de coûts, spécifications, quantité, qualité et délais de livraison.

« Agility is a set of capabilities for meeting widely varied customer requirements in term of price, specification, quality, quantity and delivery » (Katayama & Bennett, 1999).

À la fin des années 1990, le concept d'agilité commence à attirer des aspects plus externes à l'entreprise pour s'adapter à l'environnement industriel, la figure 2.1 montre les différents niveaux organisationnels du concept d'agilité.

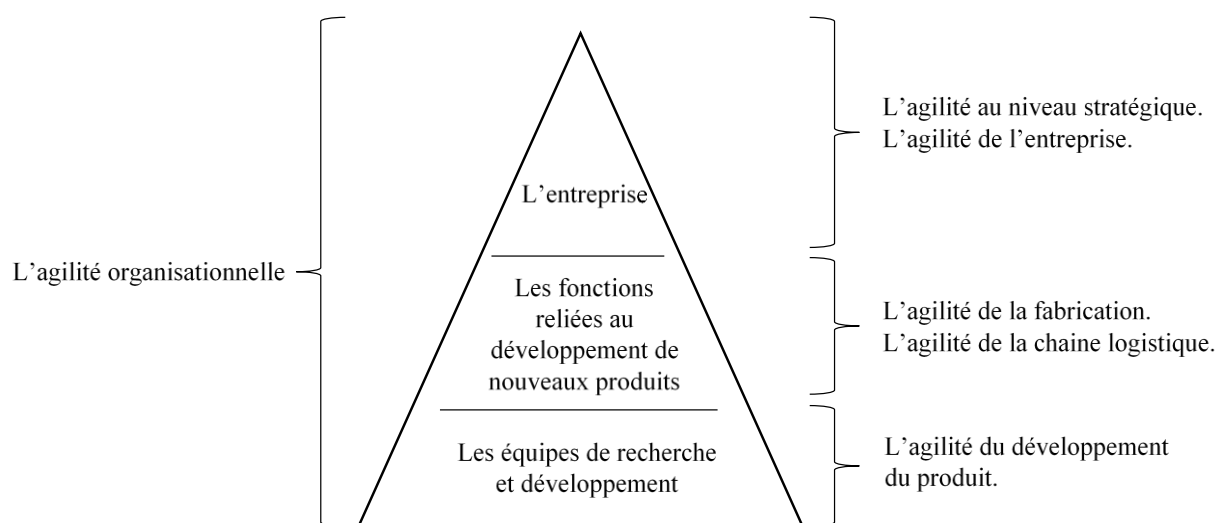


Figure 2.1: Niveaux organisationnels de l'agilité [adapté de (Kettunen, 2012)]

Dans nos travaux, nous nous intéressons au concept de l'agilité des chaînes logistiques, parce que d'un côté, la compétitivité entre entreprises s'est transformée en compétitivité entre chaînes logistiques (Christopher, 2000), d'un autre côté, en moyenne 7 à 9% des revenus des ventes et 15% de la valeur ajoutée créée dans le produit par l'entreprise sont utilisés par la gestion de la chaîne logistique (Reynolds, 2001). C'est en 2001 que l'intérêt de l'agilité aux chaînes logistiques est apparu (Siddhartha & Sachan, 2016) et a été défini par VanHoek, Harrison et Christopher (2001) comme étant la réactivité à la demande des clients et la maîtrise de la dynamique et la turbulence des marchés, et que l'atteinte de l'agilité des chaînes logistiques se fait à travers les caractéristiques suivantes :

- la sensibilité au client;
- l'intégration virtuelle de la production;
- l'intégration des processus; et
- l'intégration des réseaux des fournisseurs.

Afin d'avoir d'autres visions de l'agilité dans la chaîne logistique, le tableau 2.1 résume les définitions pertinentes de l'agilité d'une chaîne logistique.

Tableau 2.1: Définitions de l'agilité des chaînes logistiques

Auteurs	Définition
Mason-Jones et al. (2000a) Mason-Jones et al. (2000b) Ben Naylor et al. (1999)	L'agilité est l'utilisation de l'information du marché et de l'entreprise virtuelle pour exploiter des opportunités profitables dans un marché volatil.
VanHoek et al. (2001)	La capacité de réagir à la demande des clients et à la maîtrise de la dynamique et de la turbulence des marchés.
Prater, Biehl et Smith (2001)	L'agilité d'une chaîne logistique est déterminée par le degré de configuration des composants physiques de la chaîne logistique (approvisionnement, fabrication et livraison) pour incorporer la flexibilité et la rapidité.
Aitken, Christopher et Towill (2002)	L'agilité d'une chaîne logistique est sa capacité d'avoir une visibilité sur la demande ainsi que des opérations flexibles, réactives et synchrones.
Prince et Kay (2003)	La capacité de répondre rapidement et efficacement aux changements imprévus de la demande, pour satisfaire les besoins des clients en termes de coûts, spécification, qualité, quantité, et livraison.
Lee, H. L. (2004)	La capacité de la chaîne logistique de répondre aux changements à court terme ou de s'approvisionner rapidement et de gérer les perturbations externes de manière fluide.
Hofman et Cecere (2005)	Une chaîne logistique agile est celle qui prévoit et répond aux changements de la demande d'une manière rapide, facile, prévisible tout en respectant les contraintes de qualité.
Ismail et Sharifi (2006)	La capacité de l'ensemble de la chaîne logistique (incluant ses membres) à aligner rapidement son réseau et ses opérations par rapport aux exigences dynamiques et turbulentes du réseau de la demande.
Vonderembse, Uppal, Huang et Dismukes (2006)	Une chaîne logistique agile tire profit de la rapidité et de la fragmentation des marchés mondiaux en se montrant dynamique et spécifique au contexte, en changeant de manière agressive et en se concentrant sur la croissance.
Baramichai, Zimmers et Marangos (2007)	L'agilité d'une chaîne logistique est l'intégration des différents partenaires industriels pour le développement de nouvelles compétences dans le but de répondre à des marchés en évolution rapide et en perpétuelle fragmentation. Les facteurs clés de l'agilité des chaînes logistiques sont la dynamique des structures, la configuration des relations, la visibilité de bout en bout de l'information et la gestion guidée et basée sur les événements.

Tableau 2.1 (suite) : Définitions de l'agilité des chaînes logistiques

Auteurs	Définition
Li, X., Chung, Goldsby et Holsapple (2008)	L'agilité d'une chaîne logistique est le résultat de l'intégration de la vigilance de la chaîne logistique aux changements (opportunités / défis) - internes et environnementaux - avec la capacité de la chaîne logistique à utiliser les ressources pour réagir (de manière proactive / réactive) à ces changements, le tout de manière rapide et flexible.
Swafford, Ghosh et Murthy (2008)	La capacité de la chaîne d'approvisionnement à s'adapter ou à réagir rapidement à un environnement de marché en évolution.
Pandey et Garg (2009) Vinodh et al. (2008) Yusuf, Gunasekaran, Adeleye et Sivayoganathan (2004) Christopher et Denis (2001)	L'agilité est la capacité d'une entreprise d'inclure dans ses moyens les structures organisationnelles, les systèmes d'information, les processus logistiques et en particulier les mentalités.
Caifeng (2009)	L'agilité des chaînes logistiques est leurs capacités de déterminer et de saisir constamment des opportunités commerciales plus rapidement que ses concurrents.
Charles, Luras et Van Wassenhove (2010)	L'agilité de la chaîne logistique est sa capacité de répondre rapidement et adéquatement aux changements à court terme de la demande, de l'approvisionnement et de l'environnement. L'agilité de la chaîne logistique est le résultat de la flexibilité, de la réactivité et de l'efficacité.
Verma, S., Jain et Majumdar (2012)	L'agilité est la capacité d'une entreprise à répondre à des changements imprévisibles du marché, et de convertir ces changements en des opportunités commerciales.
Gautam, LeBel et Beaudoin (2013)	La capacité de détecter et de répondre efficacement et en un court délai aux fluctuations de la demande, mais dans le cas d'un changement dans la tendance du marché, la chaîne logistique doit réadapter ses fonctions internes pour répondre aux nouvelles conditions du marché.
Shaarabh, Rishi et Sharma (2014)	L'agilité est la capacité à réagir et à répondre à un environnement qui force fréquemment l'entreprise à changer tout en satisfaisant continuellement les clients et en maintenant ses objectifs commerciaux.
Gligor et al. (2015)	L'agilité est la capacité de changer les états de ses opérations pour répondre à l'incertitude et aux conditions du marché
Fayezi et al. (2017)	L'agilité est une capacité stratégique qui permet aux entreprises de détecter et de réagir rapidement aux incertitudes internes et externes à travers une intégration effective des relations de la chaîne logistique.

Ces définitions nous ont permis de comprendre les fondements du concept de l'agilité et ses finalités qui est au cœur des stratégies des entreprises face à la concurrence. Toutefois, ces définitions ne précisent pas à quel niveau organisationnel ces principes doivent être intégrés.

2.2.1 Cadre d'analyse

Dans le domaine de la gestion de la chaîne logistique, il existe peu de revues de littérature sur l'analyse de l'agilité, des chercheurs ont traité le besoin de l'agilité dans la chaîne logistique (Sharma, Sahay, Shankar, & Sarma, 2017), d'autres ont traité les objectifs de l'agilité (Lemieux et al., 2012; Sherehiy, Karwowski, & Layer, 2007; Shewchuk & Moodie, 1998). Les capacités organisationnelles de l'agilité ont été revues par Fayezi et al. (2017); Gligor et Holcomb (2012b); Sharma et al. (2017). Gunasekaran, A. et Kobu (2007); Shaarabh et al. (2014) ont traité les mesures de performances de la chaîne logistique dans un environnement agile. Le tableau 2.2 regroupe les travaux de revues de littérature sur l'agilité des chaînes logistiques.

Tableau 2.2 : Synthèse des éléments analysés dans les revues de littérature sur l'agilité des chaînes logistiques

Auteurs	Objectifs	Questions de recherche
Gunasekaran, A. et Kobu (2007)	Revue des mesures de performances de la gestion de la chaîne logistique	1- Quels sont les indicateurs clés de performance de la gestion de la chaîne logistique 2- Quelle est la nature et la phase d'implémentation de ces indicateurs clés de performance ?
Sherehiy et al. (2007)	Revue des caractéristiques de l'agilité de la fabrication et de la main-d'œuvre et leurs adaptabilités au sein de toute l'entreprise	1- Quelles sont les caractéristiques de l'agilité qui peuvent être appliquées à toute l'entreprise ?
Lemieux et al. (2012)	Revue des initiatives de transformation, des approches et des modèles des systèmes agiles dans l'industrie de la mode	1- Quels sont les objectifs d'amélioration pour l'atteinte de l'agilité 2- Quels sont les services concernés par les stratégies et les méthodes d'intégration de l'agilité ? 3- Quels sont les méthodes, les outils et les stratégies permettant d'intégrer l'agilité ?

Tableau 2.2 (suite) : Synthèse des éléments analysés dans les revues de littérature sur l'agilité des chaînes logistiques

Auteurs	Objectifs	Questions de recherche
Gligor et Holcomb (2012b)	Revue sur l'agilité des chaînes logistiques et leurs relations avec les capacités logistiques	1- Quels sont les éléments communs dans la conceptualisation de l'agilité ? 2- Quelles sont les capacités logistiques dans une chaîne logistique ? 3- Quelle est la relation entre capacité logistique et agilité de la chaîne logistique ?
Shaarabh et al. (2014)	Revue des méthodes d'évaluation de l'agilité	1- Quelles sont les approches d'évaluation de l'agilité ? 2- Quels sont les avantages et limites de chaque approche ?
Fayezi et al. (2017)	Revue des moyens de développement et de maîtrise de l'agilité dans une chaîne logistique	1- Quelles sont les lacunes conceptuelles dans le développement et la maîtrise de l'agilité ? 2- Quelles sont les lacunes contextuelles dans le développement et la maîtrise de l'agilité ? 3- Quelles sont les lacunes méthodologiques dans le développement et la maîtrise de l'agilité ?
Sharma et al. (2017)	Revue des capacités de l'agilité des chaînes logistiques et leurs impacts sur la performance de la gestion de la chaîne logistique	1- Quels sont les besoins et la pertinence de l'agilité dans une chaîne logistique ? 2- Quels sont les leviers d'amélioration de l'agilité dans une chaîne logistique ? 3- Quel est l'impact de l'agilité sur la performance de la chaîne logistique ?

Gunasekaran, A. et Kobu (2007) ont mené une revue de littérature systématique entre 1995 et 2004 pour déterminer les mesures de performances liées à la gestion de la chaîne logistique. La revue de littérature a révélé l'existence de 90 mesures de performance, les auteurs les ont synthétisées en 27 indicateurs clés de performance et les ont classifiés selon deux catégories : la nature de la mesure (financière ou non financière) et la phase d'implémentation de la mesure dans la chaîne logistique (planification, approvisionnement, production, livraison).

Sherehiy et al. (2007) ont mené une revue de littérature sur la production agile et l'agilité de la main-d'œuvre afin d'étendre le concept d'agilité sur toute l'entreprise. Les auteurs ont identifié les caractéristiques de l'agilité qui peuvent être appliquées à tous les aspects de l'entreprise (la

flexibilité, la réactivité, la rapidité, la gestion de changement, l'intégration des processus, la personnalisation des produits, la gestion de la qualité et la mobilisation des compétences).

Lemieux et al. (2012) ont mené une revue de littérature sur l'agilité dans l'industrie de la mode selon un cadre d'analyse qui traite 6 objectifs (la robustesse, la résilience, la réactivité, la flexibilité, l'innovation et l'adaptabilité), 3 dimensions (le côté client, l'intra organisationnel et le côté fournisseur) ainsi que 4 catégories de leviers d'amélioration (l'adoption des technologies, l'amélioration des processus, le positionnement dans le marché et les changements organisationnels). Les auteurs ont conclu que les aspects de résilience et d'adaptabilité, ainsi que les leviers d'améliorations liés au positionnement dans le marché ont été négligés dans l'industrie de mode.

Gligor et Holcomb (2012b) ont mené une revue de littérature systématique entre 1991 et 2010 sur le rôle des capacités logistiques dans l'atteinte de l'agilité des chaînes logistiques. Les auteurs ont conceptualisé la relation entre les capacités logistiques et l'agilité des chaînes logistiques. Cette relation est due à l'intégration de l'information, le niveau de service, la maîtrise des coûts et la fiabilité et la rapidité de livraison, les auteurs ont aussi précisé que l'agilité ne peut être atteinte individuellement par une entreprise, mais que c'est un travail collaboratif entre les acteurs principaux de la chaîne logistique.

Shaarabh et al. (2014) ont mené une revue de littérature sur les méthodes proposées pour l'évaluation de l'agilité. Les auteurs ont présenté une description générale de chaque méthode ainsi que ses avantages et ses limites. Malgré la multitude de méthodes analysées par les auteurs, le développement d'un indice universel d'évaluation de l'agilité est recommandé afin d'établir une référence de comparaison.

Fayezi et al. (2017) ont mené une revue de littérature sur les moyens de développement et de maîtrise de l'agilité. En se basant sur un processus de recherche structuré. Leur recherche a identifié 83 articles évalués par des pairs et les moyens permettant le développement et la maîtrise de l'agilité dans la chaîne logistique ont été identifiés et classés selon trois catégories (moyens conceptuels, contextuels et méthodologiques). À la suite de l'analyse de ces moyens, les auteurs ont déterminé le levier stratégique pour le développement et la maîtrise de l'agilité, soit l'intégration des relations entre les différents acteurs clés de la chaîne logistique.

Sharma et al. (2017) ont mené une revue de littérature systématique entre 1999 et 2016 sur l'agilité de la chaîne logistique selon un cadre d'analyse qui traite d'abord l'agilité de la chaîne logistique d'un point de vue stratégique. Le 2^e axe traite les capacités de la chaîne logistique agile et 10 leviers d'amélioration (l'intégration des processus, la flexibilité, la collaboration des acteurs clés, l'approvisionnement stratégique, le partage d'informations, l'utilisation des technologies d'information, la gestion des compétences, l'orientation, la sensibilité au marché, la gestion des risques) ont été présentés. Le 3^e axe traite l'impact de l'agilité sur la performance de la gestion de la chaîne logistique.

Bien que ces revues aient mis en évidence le fait que l'agilité a fait l'objet de plusieurs activités de recherche, la combinaison des facteurs-conducteurs d'agilité, des objectifs répondant à ces facteurs-conducteurs, des leviers d'amélioration intégrant ces objectifs au processus de gestion de la chaîne logistique, et finalement à quel niveau organisationnel sont-ils appliqués précisément n'a pas été traité auparavant. Pour cela, la réalisation de cette revue de littérature a pour but de synthétiser les travaux traitant l'agilité des chaînes logistiques selon les 4 axes suivant :

- les différents niveaux organisationnels d'intégration de l'agilité;
- les facteurs-conducteurs de l'agilité dans une chaîne logistique;
- les objectifs de l'agilité dans une chaîne logistique; et
- les leviers d'amélioration pour l'atteinte de l'agilité.

Le cadre présenté à la figure 2.2 nous permettra de répondre aux sept questions de la méthode QQQQCCP², à savoir :

- le « Quoi » : qu'est-ce que nous cherchons à intégrer ? Quels principes ?
- le « Qui » : à qui s'adressent nos initiatives de transformation du processus ?

² Le QQQQCCP (acronyme qui signifie Quoi, Qui, Où, Quand, Comment, Combien, Pourquoi) est un outil d'aide à la résolution des problèmes, appelé aussi méthode du questionnement, permettant de décrire une situation de manière exhaustive (Dubuisson-Quellier, Plessz, Nicol, & Wilmotte, 2013)

- le « Où » : où est-ce que nos initiatives de transformation sont positionnées dans la chaîne logistique ?
- Le « Quand » : quand nos initiatives de transformation peuvent être intégrées dans la chaîne logistique ?
- le « Comment » : comment pouvons-nous atteindre un certain niveau d'agilité ?
- le « Combien » : de combien avons-nous amélioré la gestion de la chaîne logistique ?
- le « Pourquoi » : pourquoi cherchons-nous à intégrer l'agilité dans la chaîne logistique ?

Le contenu de la figure 2.2 sera détaillé dans les sections suivantes et les questions « Comment » et « Combien » seront traitées dans le chapitre 3.

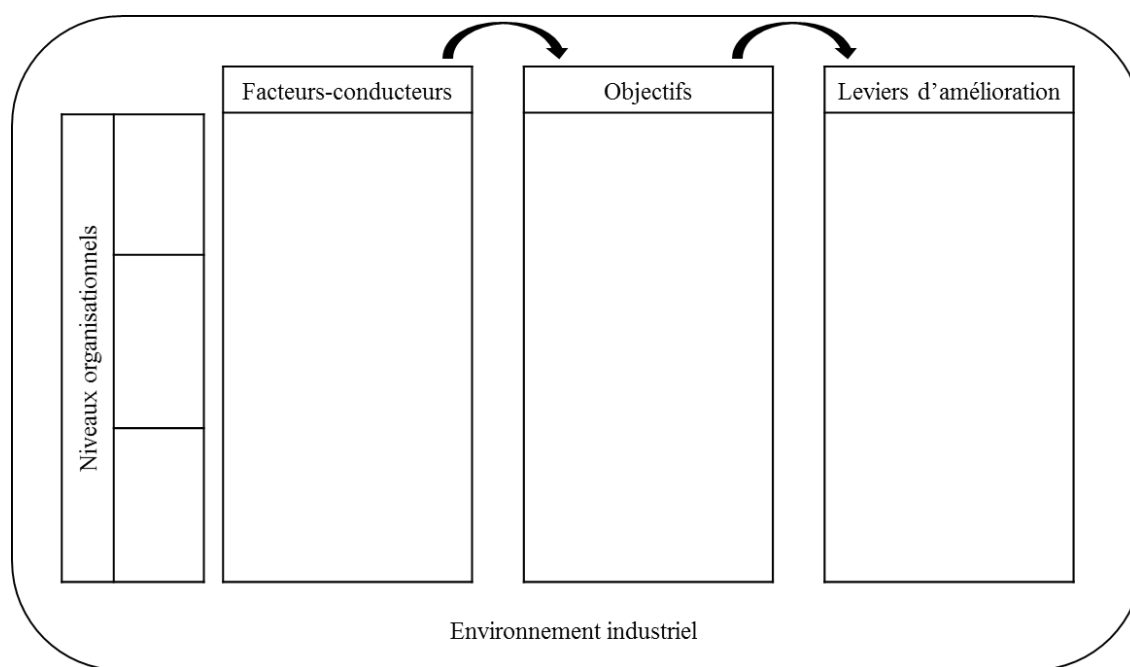


Figure 2.2 : Cadre d'analyse de la littérature de l'agilité des chaînes logistiques

2.2.1.1 Les niveaux organisationnels

Les niveaux constituent le premier axe du cadre d'analyse et représentent l'étendue de l'analyse de l'agilité dans la chaîne logistique. Plusieurs visions d'analyse de l'agilité ont été développées. Pandey et Garg (2009) ont analysé l'agilité selon les niveaux décisionnels d'une chaîne logistique (le niveau stratégique, le niveau tactique, le niveau opérationnel). Siddhartha et Sachan (2016) ont proposé un autre cadre d'analyse dans lequel ils traitent l'agilité selon cinq niveaux (la fonction,

l'entreprise, la structure dyadique, la chaîne, le réseau). Une autre vision proposée par Sangari, Razmi et Zolfaghari (2015) analyse l'agilité selon l'engagement stratégique de l'entreprise, les mécanismes et les infrastructures, et les compétences humaines et culturelles.

Dans notre cas, nous proposons une analyse de l'agilité selon les trois aspects classiques de la chaîne logistique (le côté fournisseur, l'intra-organisationnel, le côté client) telle qu'abordée par Fayezi et al. (2017); Gligor et Holcomb (2012b); Mehralian et al. (2015). Cette classification a été adoptée dans le but de faciliter la détermination de la vision des chercheurs dans ce qu'ils définissent comme étant « agilité de la chaîne logistique ».

2.2.1.1.1 Le côté fournisseur

Cet aspect analyse l'agilité en se concentrant sur la relation de l'organisation avec ses fournisseurs, cette relation traite le contenu de l'information à partager (Kim & Chai, 2017), l'intégration des processus (Tse, Zhang, Akhtar, & MacBryde, 2016), la gestion des contrats (Aitken et al., 2002), la stratégie d'approvisionnement (Sufian & Monideepa, 2013), la gestion de la qualité et des normes de santé et sécurité au travail (Sherehiy et al., 2007).

2.2.1.1.2 L'aspect intra organisationnel

Cet aspect traite l'agilité à l'intérieur d'une organisation. Selon Vinodh et al. (2008), l'agilité d'une entreprise dépend de cinq facteurs, la structure organisationnelle et sa dynamique, la gestion de la production, la gestion des employés, l'utilisation de la technologie pour atteindre une visibilité de l'information de bout en bout, et la stratégie industrielle adoptée pour se positionner dans le marché.

2.2.1.1.3 Le côté client

Cet aspect traite l'agilité de la chaîne logistique face aux changements des clients. La relation de l'organisation avec le client et la sensibilité de l'entreprise face aux changements des clients sont deux paramètres importants du paradigme agile (Prince & Kay, 2003). Le côté client traite aussi la dynamique et la turbulence du marché et sa capacité à faire face à ces enjeux.

2.2.1.2 Les facteurs-conducteurs

Les facteurs-conducteurs de l'agilité sont les conditions sous lesquelles elle est demandée. Ils sont les facteurs susceptibles d'entraver le bon déroulement des opérations d'une entreprise. Ces facteurs sont liés aux changements dans l'environnement externe, ainsi qu'aux pressions internes de la chaîne logistique (Zhang, Z. & Sharifi, 2000). Les conducteurs permettent de déterminer l'importance et l'urgence de passer de la gestion traditionnelle à la gestion agile de la chaîne logistique.

En nous basant sur les travaux traitant les conducteurs de l'agilité dans la chaîne logistique, nous proposons de segmenter les changements en 7 catégories afin de traiter l'ensemble des aspects auxquels l'environnement industriel fait face :

- **Le marché** : les changements du marché représentent le degré de dynamisme (volatilité et imprévisibilité) ainsi que les pressions concurrentielles auxquelles l'environnement industriel fait face.
- **Le client** : les changements des besoins du client tracent le comportement des clients et leurs exigences en termes de produit, de personnalisation, de coût, et de délais de mise en marché. Christopher et Denis (2001) ont ajouté que les clients sont plus intéressés par la disponibilité du produit que par son coût.
- **Le produit** : les changements du produit représentent les exigences du produit en termes de variétés ainsi que de complexité technologique et manufacturière.
- **Les fournisseurs** : les changements au niveau des fournisseurs représentent le type de relations avec les fournisseurs ainsi que leurs fiabilités et leurs réactivités.
- **La technologie** : les changements de la technologie représentent la dynamique des nouvelles technologies d'informations et leurs capacités d'évaluation et de prévision du changement. Ils représentent aussi la capacité de réorganisation des inventaires et les liens entre les moyens de production.
- **Les facteurs sociaux** : ces changements représentent les changements des législations, des régulations internationales (environnementales, sociales) ou des changements de l'environnement politique.

- **Les risques inconnus** : ceux qui n'ont pas de formulation définie, cet aspect traite les différents risques ainsi que leurs probabilités d'occurrence.

2.2.1.3 Les objectifs

Les objectifs de l'agilité représentent les capacités nécessaires à déployer pour faire face aux changements et ainsi atteindre l'agilité de la chaîne logistique. Pour souligner les principaux objectifs de l'agilité dans une chaîne logistique, nous allons nous baser sur la description de l'agilité dans la logistique militaire de Alberts et Hayes (2003) et qui a défini l'agilité comme étant la combinaison des six principes suivants :

- La flexibilité : la capacité d'employer plusieurs moyens pour réussir une tâche et la capacité de passer facilement d'un état vers un autre.
- La réactivité : la capacité de réagir dans le temps à un changement dans l'environnement.
- La robustesse : la capacité de maintenir l'efficacité à travers un ensemble de tâches, situations et conditions.
- La résilience : la capacité de se rétablir ou de s'ajuster d'un dommage ou d'un événement perturbateur de l'environnement, ce dernier est non prévisible.
- L'innovation : la capacité de produire de la nouveauté et la capacité de réaliser les vieilles choses d'une nouvelle manière.
- L'adaptabilité : la capacité de réaliser des changements dans les processus de travail et dans l'organisation.

Nous allons analyser les différents travaux de la littérature par rapport à chacun des aspects vus ci-dessus.

2.2.1.4 Les leviers d'amélioration

Les leviers d'amélioration sont l'ensemble des pratiques stratégiques, méthodes, outils et techniques permettant de faire face aux différents aléas de l'environnement industriel et créer ainsi l'agilité dans les chaînes logistiques.

Différents travaux ont proposé un cadre théorique pour analyser les leviers d'amélioration. Flidner et Vokurka (1997) ont divisé les facteurs de succès de l'agilité en initiatives intra-

organisationnelles et initiatives inter-organisationnelles. Siddhartha et Sachan (2016) ont analysé les besoins structurels requis pour atteindre l'agilité, et Schön, Thomaschewski et Escalona (2017) ont analysé les besoins informationnels, organisationnels et opérationnels pour atteindre l'agilité.

Dans notre analyse des leviers d'amélioration de l'agilité, nous adoptons la classification proposée par Gunasekaran, A. (1999); Vinodh et al. (2008); Zhang, Z. et Sharifi (2000), cette classification permet de présenter la vision de la stratégie de l'entreprise pour l'amélioration de l'agilité ainsi que les ressources (technologies, systèmes et compétences humaines) utilisées et traite les leviers d'amélioration en 4 catégories :

- Les **stratégies** organisationnelles et manufacturières pour répondre à la demande des clients, se positionner dans un marché dynamique et turbulent dans le but d'améliorer la performance de la chaîne logistique.
- Les **technologies** de l'information (TI) utilisées pour la modélisation, la simulation, l'optimisation et le partage de l'information tout au long de la chaîne logistique.
- Les **systèmes** de conception, les systèmes de planification et de contrôle de la production, les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données.
- Les **personnes (compétences humaines)** : les compétences des employés et leurs implications dans le processus de changement, le soutien de la direction pour améliorer la performance de la chaîne logistique.

2.2.2 Méthode de recherche

Pour garantir la fiabilité du processus de recherche bibliographique, l'approche structurée de la recherche systématique de la littérature proposée par Kitchenham et Charters (2007) a été suivie, cette approche identifie d'abord les informations pertinentes de sélection d'articles à travers un processus d'évaluation codé, ensuite propose un processus de raffinement des résultats en plusieurs étapes et finalement synthétise et évalue la qualité des travaux sélectionnés. Durant ce processus de recherche, les conseils proposés par Fisch et Block (2018) pour mener une revue de littérature systématique ont été suivis. La figure 2.3 présente le processus de recherche bibliographique qui sera détaillé dans les sections suivantes.

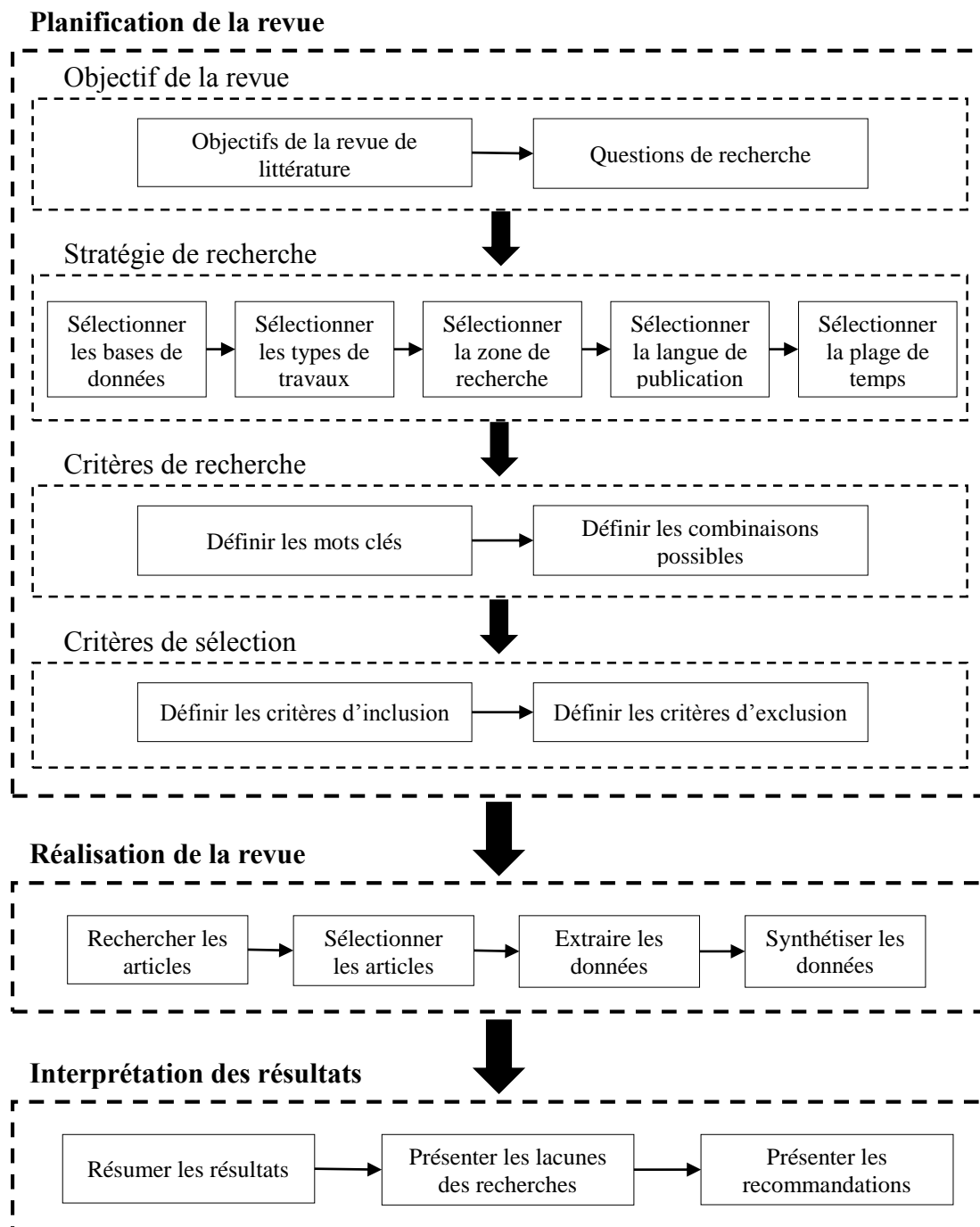


Figure 2.3 : Méthodologie de la revue de la littérature

2.2.2.1 Planification de la revue

Tel que recommandé par Kitchenham et Charters (2007), les objectifs de la revue de littérature et les questions de recherche sont présentés en première partie, suivis de la stratégie et des critères de recherche et finalement nous énumérons les critères d'inclusion et d'exclusion.

2.2.2.1.1 *Objectifs et questions de recherche*

Pour faire face aux différents risques et à la dynamique actuelle de l'environnement industriel, plusieurs entreprises ont adopté une gestion agile de leurs chaînes logistiques en créant de plus en plus de partenariats et des réseaux, en renforçant la confiance entre les différents acteurs, en écoutant les changements du client et en adaptant rapidement leur stratégie pour atteindre leurs objectifs dans un environnement volatile, mais malgré le nombre important de travaux sur l'agilité des chaînes logistiques, aucun consensus des chercheurs sur la signification de l'agilité des chaînes logistiques n'existe. Ceci est dû à l'aspect pluridisciplinaire d'application de l'agilité.

Notre objectif est donc de développer une compréhension de l'agilité dans un contexte de gestion de la chaîne logistique en analysant et en classant les travaux existants de la gestion agile des chaînes logistiques, pour cela nous formulons les questions de recherches suivantes :

- Quels sont les conducteurs de l'agilité dans une chaîne logistique ?
- Quels sont les objectifs de l'agilité dans une chaîne logistique ?
- Quels sont les différents niveaux d'amélioration de l'agilité ?
- Quels sont les leviers d'amélioration pour l'amélioration de l'agilité ?
- Quelles sont les mesures de l'agilité dans une chaîne logistique ?

2.2.2.1.2 *La stratégie de recherche*

La stratégie de recherche regroupe les bases de données utilisées, le type d'articles recherchés, la zone de recherche dans l'article, la langue de recherche et la période de publication des articles. La stratégie de recherche déployée dans cette revue est répertoriée dans le tableau 2.3.

Tableau 2.3 : Stratégie de recherche rencontrée dans la revue de littérature

Bases de données électroniques	Compendex, Emerald, In spec, Science direct, Taylor and Francis, Web of science, Wiley.
Articles recherchés	Articles de journaux
Recherche appliquée sur	Titre/ Résumé / Mot-clés
Langue	Anglais
Période de publication	2001-2018

2.2.2.1.3 Les critères de recherche

Deux critères de recherche ont été utilisés dans cette revue de littérature :

- C1 : Le premier critère est composé des mot-clés relatifs à l'agilité, tel que : « Agile », « Agility », « Leagile », « Leagility ».
- C2 : Le deuxième critère est composé des mot-clés relatifs à la chaîne logistique tel que : « Supply chain », « value chain », « supply chain management ».

L'expression booléenne utilisée sur les critères de recherche est :

C1 AND C2

Nous avons composé le jeu de mot-clés pour chaque base de données en fonction de la stratégie de recherche qu'elle propose.

2.2.2.1.4 Les critères de sélection

Pour déterminer les travaux à sélectionner dans notre revue de littérature, nous avons défini des critères d'inclusion et d'exclusion :

- Critères d'inclusion :
 - Le concept d'agilité est analysé dans le contexte de la chaîne logistique,
 - Les travaux sont des publications évaluées par les pairs,
 - Les travaux sont en anglais.

- Critères d'exclusion :
 - Les travaux traitent l'agilité de la fabrication ou du développement de produits ou du développement de logiciel,
 - Les travaux qui ne respectent pas les critères d'inclusion.

2.2.2.2 Réalisation de la revue

Cette section présente le processus de recherche et de sélection des articles, le formulaire d'extraction des données, ainsi que la méthode de synthèse des résultats tel que proposé par Kitchenham et Charters (2007).

2.2.2.2.1 Recherche et sélection des articles

Durant cette étape, la stratégie de recherche est suivie pour effectuer la revue de littérature. Ensuite, un processus permettant d'identifier et de sélectionner à partir des bases de données les articles les plus pertinents est présenté dans la figure 2.4.

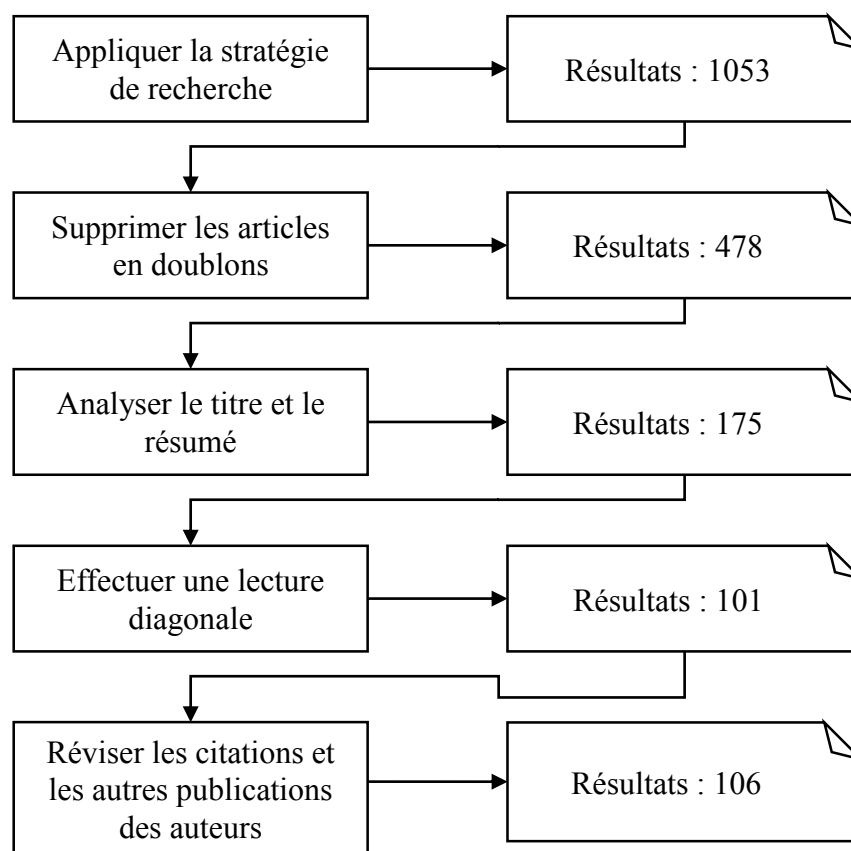


Figure 2.4 : Processus de sélection des articles

Ce processus nous a permis d'obtenir une première liste contenant 1053 articles, une fois que les articles dupliqués ont été supprimés, la pertinence de chaque article a été déterminée en premier lieu en analysant le titre et le résumé, et en utilisant les critères d'inclusion, ensuite une lecture en diagonale (une lecture de l'introduction, des titres des tableaux et de la discussion/conclusion) a été effectuée pour raffiner davantage la liste des articles, et en utilisant les critères d'exclusion. Les citations des articles pertinents ont été revues, ainsi que toutes les publications des auteurs les plus cités dans les articles identifiés pour une collecte additionnelle d'articles.

2.2.2.2.2 *Extraction des données*

La phase d'extraction des données permet de collecter l'information nécessaire après une lecture du texte entier de chacun des 106 articles, cette information est collectée dans le formulaire d'extraction des données dans le but de répondre aux questions de recherche. Le tableau 2.4 présente les composantes du formulaire utilisé.

Tableau 2.4 : Éléments du formulaire d'extraction des données

Titre	Journal	Auteurs	Niveaux	Conducteurs	Objectifs	Leviers d'amélioration	Mesures de performance

2.2.2.2.3 *Synthèse des données*

Durant cette phase, les données extraites sont synthétisées à partir du formulaire d'extraction des données dans le but de répondre aux questions de recherche définies préalablement.

La synthèse consiste à regrouper les travaux selon la dimension du cadre d'analyse présenté à la figure 2.2, ensuite une synthèse descriptive de chaque dimension est effectuée, suivie d'une synthèse quantitative des résultats.

La synthèse descriptive présente de manière cohérente les résultats dans chacun des articles pour répondre aux questions de recherche, un tableau de synthèse mettra en évidence les similitudes et les différences entre les articles sélectionnés.

La synthèse quantitative présente le nombre d'articles traitant chaque aspect de chaque dimension dans notre cadre d'analyse sous forme de graphe.

2.2.2.3 Interprétation des résultats

Durant cette phase, une analyse de la synthèse des données est effectuée, cette synthèse comprend :

- Un résumé des inducteurs, objectifs, leviers d'amélioration et mesures de performances dans les trois niveaux de la chaîne logistique (côté fournisseur, intra organisationnel et côté client),
- Les lacunes dans les travaux de l'agilité des chaînes logistiques,
- Les recommandations pour de futures activités de recherche,

La section suivante présente les résultats de la revue systématique de la littérature des chaînes logistiques agiles.

2.2.3 Analyse de la littérature

Cette section présente les résultats de la revue de littérature concernant le principe de l'agilité dans la chaîne logistique. L'étude bibliographique élaborée dans ce qui suit porte sur les différents facteurs-conducteurs de l'agilité, ses objectifs et ses leviers. Chaque aspect va être analysé selon les 3 niveaux proposés dans le cadre d'analyse.

La distribution des articles par journal et par année est respectivement présentée au tableau 2.5 et à la figure 2.5. La liste des références est présentée dans l'annexe A.

Tableau 2.5 : Distribution des articles de la revue par journal

Journaux	Articles sélectionnés
International Journal of Production Economics	22
Supply Chain Management: An International Journal	14
International Journal of Production Research	12
International Journal of Physical Distribution & Logistics Management	10
International Journal of Operations and Production Management	8
International Journal of Logistics Research and Applications	6
International Journal of Logistics Management	6
Journal of Operations Management	4
Journal of Business Logistics	3
European Journal of Operational Research	2
Journal of Manufacturing Technology Management	2
International Journal of Information Management	2
International journal of advanced manufacturing technology	2
Journal of Advances in Management Research	1

Tableau 2.5 (suite) : Distribution des articles de la revue par journal

Journaux	Articles sélectionnés
International Journal of Agile Systems and Management	1
Measurement	1
Industrial Marketing Management	1
Global Journal of Flexible Systems Management	1
Computers and Industrial Engineering	1
The International Journal of Applied Management and Technology	1
Journal of applied research and technology	1
Engineering Applications of Artificial Intelligence	1
Information Sciences	1
Journal of materials processing technology	1
Robotics and computer-integrated manufacturing	1
Decision sciences	1

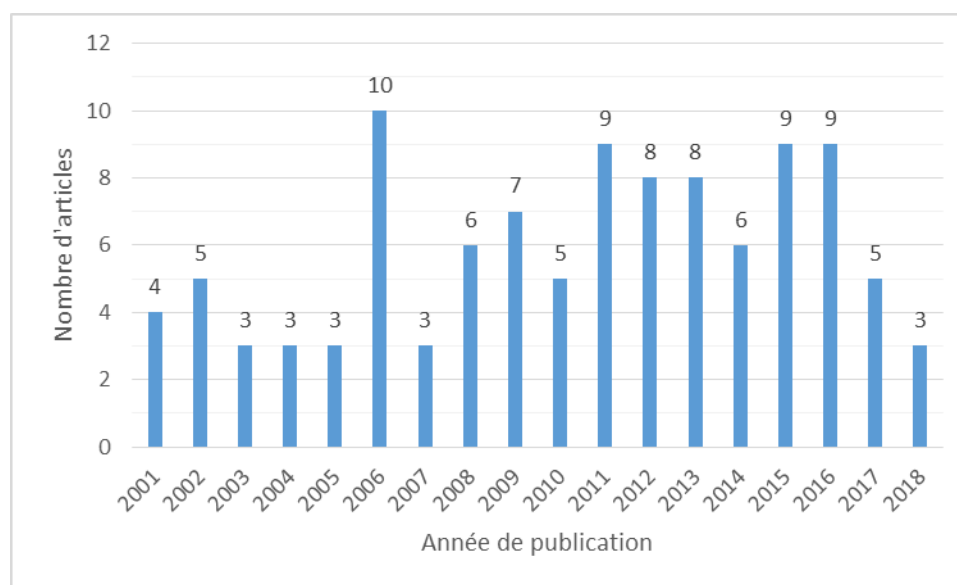


Figure 2.5 : Distribution des articles de la revue par année de publication

2.2.3.1 Les conducteurs

Le besoin de l'agilité dans la chaîne logistique est devenu une condition nécessaire de survie face à l'intensification des changements perçus dans l'environnement extérieur, ainsi qu'aux pressions intra-organisationnelles (Agarwal, Shankar, & Tiwari, 2006; Cabral, Grilo, & Cruz-Machado, 2012; Drake, Myung Lee, & Hussain, 2013; Gaudenzi & Christopher, 2016; Jain, Benyoucef, & Deshmukh, 2008a; Khan K, Bakkappa, Metri, & Sahay, 2009; Kim & Chai, 2017; Tarafdar &

Qrunfleh, 2017; Tukamuhabwa, Stevenson, Busby, & Zorzini, 2015; VanHoek et al., 2001; Wieland & Marcus Wallenburg, 2012), nous discutons dans cette partie les 3 types de facteurs-conducteurs de l'agilité.

2.2.3.1.1 L'incertitude

Selon Vold (2005), l'incertitude est la marge d'imprécision sur la valeur de la mesure d'une grandeur physique. Dans plusieurs travaux, le besoin de l'agilité est justifié par l'incertitude de différents paramètres de l'environnement industriel actuel (Charles et al., 2010; Ismail & Sharifi, 2006; Li, X. et al., 2008; Tseng & Lin, 2011).

L'incertitude de la demande des clients en termes de volume est l'aspect le plus cité dans les travaux de l'agilité des chaînes logistiques (Christopher & Denis, 2001; Gligor, 2014; Kumar, Mishra, Chan, & Verma, 2011; Pandey & Garg, 2009; Tse et al., 2016). Baker (2006, 2008) a ajouté que l'incertitude dans la variété des produits est un enjeu important qu'il faut considérer lors de l'évaluation de l'agilité.

En plus de l'incertitude de la demande, Eckstein, Goellner, Blome et Henke (2015) considèrent l'incertitude de l'approvisionnement comme indicateur important dans l'évaluation de l'incertitude de l'environnement industriel. Cette incertitude est étudiée par Baramichai et al. (2007) et est divisée en 5 catégories :

- l'incertitude de la qualité : les changements dans les standards de qualité du fournisseur ou la variation par période de temps de la qualité des produits approvisionnés;
- l'incertitude du volume et de la quantité : l'augmentation, la diminution ou la variation de la quantité approvisionnée auprès d'un fournisseur;
- l'incertitude du délai d'approvisionnement : la variation du délai d'approvisionnement des produits;
- l'incertitude de la disponibilité : le changement dans la capacité d'un fournisseur ou la rupture du produit dans le marché; et
- l'incertitude du coût : le changement des coûts d'achat des matières premières ou des produits auprès d'un fournisseur.

Les dimensions de l'incertitude vues auparavant ne concernent que celles au niveau inter-organisationnel. Deux types d'incertitudes intra-organisationnelles existent: l'incertitude des machines liée aux pannes des machines (Xu, Besant, & Ristic, 2003), et l'incertitude de la main-d'œuvre liée à l'efficacité de la main d'œuvre et aux changements des facteurs sociaux, environnementaux et politiques (Lin, Chiu, & Chu, 2006; Tseng & Lin, 2011).

2.2.3.1.2 *La dynamique*

La dynamique de l'environnement représente la volatilité (la vitesse des changements dans l'environnement industriel) et l'imprévisibilité (capacité de les détecter ces changements avant leur réalisation) des changements de l'environnement industriel (Gligor, 2016; Gligor et al., 2015). Lin et al. (2006); Yauch (2011) ont affirmé que la dynamique est un des facteurs-conducteurs de l'agilité des chaînes logistiques, nous proposons de classifier ces facteurs-conducteurs de l'agilité en 6 catégories :

- La technologie : les variations liées à la technologie sont dues au rythme croissant du développement technologique des produits, ce qui permet d'avoir des produits innovants et des améliorations continues des performances des processus industriels (Bottani, 2010; DeGroote & Marx, 2013; Lin et al., 2006; Oh et al., 2013; Santos Bernardes & Hanna, 2009; Yusuf et al., 2004).
- Les clients : Gligor (2014); Lin et al. (2006) ont précisé que les variations des préférences des clients sont dues à leurs comportements de plus en plus exigeants. Santos Bernardes et Hanna (2009) ont ajouté que les clients demandent des produits de plus en plus personnalisables, avec une meilleure qualité et fiabilité, tout en gardant un bon niveau de service. Yusuf et al. (2004) affirment que les clients sont intéressés par la disponibilité du produit que par son coût. Christopher et Denis (2001); Tuan (2016) ajoutent que la pénalité de rupture est immédiate et volatile,
- Le produit : la variabilité du volume est due aux fluctuations dynamiques de la demande des produits (Baker, 2006; Lemieux et al., 2012; Tiwari, Tiwari, Samuel, & Bhardwaj, 2013; Vinodh et al., 2008), ces variations sont causées par la saisonnalité et le cycle de vie réduit des produits (Chiang, Kocabasoglu-Hillmer, & Suresh, 2012; Mason, Cole, Ulrey, &

Yan, 2002; Santos Bernardes & Hanna, 2009; Tuan, 2016) et par l'obsolescence technologique et les commandes urgentes (Baker, 2008),

- Les fournisseurs : les variations dans l'approvisionnement des composants sont dues aux changements dans la conception et les fonctionnalités du produit d'un fournisseur (Baramichai et al., 2007; Gligor et al., 2015),
- Aspect légal : les changements des réglementations dans l'approvisionnement d'un produit auprès d'un fournisseur (Baramichai et al., 2007), la privatisation des entreprises publiques, les fusions et les acquisitions (Yusuf et al., 2004) et les changements des régulations internationales (Oh et al., 2013),
- Les risques imprévisibles : les événements qui sont hors de contrôle, qui n'ont pas de formulation définie, qui n'ont pas de règles d'arrêts pour déterminer le moment où le problème est résolu, qui ne peuvent pas être entièrement testés, et qui ne peuvent pas être généralisés (Agarwal et al., 2006; Charles et al., 2010). Parmi ces risques, Tiwari et al. (2013) citent les catastrophes naturelles, le terrorisme, la fraude, la corruption, la contrefaçon de qualité, les pandémies et les risques financiers.

2.2.3.1.3 *La complexité*

En plus de l'incertitude et de la variabilité, la complexité se présente en 3 catégories :

- la complexité organisationnelle qui se manifeste par la taille de l'entreprise (Eckstein et al., 2015) et de son réseau (Santos Bernardes & Hanna, 2009), le nombre et l'hétérogénéité des tâches que l'entreprise doit gérer (Gligor et al., 2015), la complexité des processus de planification, la complexité des systèmes d'information (Prater et al., 2001; Xu et al., 2003) et la capacité de l'entreprise à acquérir de nouvelles parts de marché et à supporter une croissance durable (Gligor, Holcomb, & Feizabadi, 2016),
- Les besoins des clients en termes de produits intelligents ont fait que les produits ont des spécifications complexes (Yusuf et al., 2004). La complexité liée au produit se manifeste par le nombre de ses composants et par la complexité de ses procédés de conception, de fabrication et de contrôle (Eckstein et al., 2015). Cette complexité est due au nombre croissant des innovations technologiques (Gligor, 2014; Jain, Benyoucef, & Deshmukh, 2008b; Tseng & Lin, 2011),

- la complexité du marché se manifeste par l'intensification de concurrence dans le marché et le nombre croissant de nouveaux produits dans le marché (DeGroote & Marx, 2013; Lin et al., 2006; Mason et al., 2002; Santos Bernardes & Hanna, 2009; Vinodh et al., 2008), les exigences changeantes et uniques des clients de plus en plus informés par les tendances du marché (Lemieux et al., 2012), et les délais de mise en marché plus courts avec un cycle de vie des produits réduit (Christopher & Denis, 2001; Tiwari et al., 2013).

2.2.3.2 Les objectifs

Les objectifs de l'agilité des chaînes logistiques sont les capacités organisationnelles et opérationnelles nécessaires pour fournir une réponse rapide dans le temps et qui s'adapte aux besoins des clients, nous discutons dans cette partie les 6 objectifs des chaînes logistiques agiles.

2.2.3.2.1 La flexibilité

La flexibilité est une caractéristique opérationnelle (Santos Bernardes & Hanna, 2009) et stratégique (Swafford et al., 2008) liée au système. La flexibilité est l'aspect le plus important dans l'atteinte de l'agilité d'une chaîne logistique (Fayezi, Zutshi, & O'Loughlin, 2015; Gligor, 2014, 2016; Swafford, Ghosh, & Murthy, 2006) et permet ainsi de fournir une réponse agile face aux incertitudes externes (Aronsson, Abrahamsson, & Spens, 2011; Balaji, Velmurugan, & Subashree, 2015; Braunscheidel & Suresh, 2009; Goldsby, Griffis, & Roath, 2006; Jain et al., 2008a).

La flexibilité est la capacité de modifier au besoin un ensemble de tactiques et d'opérations pour répondre à tout changement provenant des fournisseurs jusqu'aux clients d'une chaîne logistique (Eckstein et al., 2015; Gligor, Holcomb, & Stank, 2013). Ces changements des états doivent être prédéfinis dans le temps et doivent être réalisés en utilisant les installations (Lin et al., 2006; Swafford et al., 2006) et les configurations (Santos Bernardes & Hanna, 2009) existantes en peu de temps, d'effort, de coût et sans une détérioration de la performance (Charles et al., 2010).

Li, X. et al. (2008) ont mis l'accent sur la variété de moyens pour réussir, et ont défini la flexibilité par la capacité de reconnaître de nouvelles options afin de surmonter les changements imprévisibles. Swafford et al. (2006) ont ajouté que la flexibilité est une fonction à deux paramètres :

- La variété, qui correspond au nombre des différents états (niveaux, positions ou options) pouvant être atteints avec les ressources existantes,

- La fluidité, qui est la capacité de passer d'un état à un autre de manière rapide et efficace.

La flexibilité comprend la flexibilité de la production, la flexibilité de l'approvisionnement, la flexibilité de la livraison (Jain et al., 2008b; Prater et al., 2001; Samantra, Datta, Mishra, & Mahapatra, 2013; Swafford et al., 2006) et la flexibilité du développement de produit (Charles et al., 2010; Chiang et al., 2012).

La flexibilité de production est la dimension la plus discutée en littérature (Gligor & Holcomb, 2012b). Chiang et al. (2012) l'ont défini comme étant une capacité interne à ajuster les processus de fabrication pour répondre aux besoins changeants du marché. Cette dimension inclut :

- La flexibilité liée au produit : cette flexibilité permet de varier le volume de production (flexibilité du volume), changer la gamme de produits fabriqués (flexibilité de la variété des produits) dans un délai donné pour répondre aux besoins des clients sans pour autant avoir des conséquences sur les coûts de production, sur le temps de configuration, sur l'efficacité et sur la qualité du produit (Charles et al., 2010; Tseng & Lin, 2011),
- La flexibilité liée aux machines : la capacité des ressources à effectuer différentes opérations requises pour la fabrication d'un ensemble de produits, et comprend la configuration et la programmation de la machine, et les changements rapides des outils (Pandey & Garg, 2009; Swafford et al., 2006; Tseng & Lin, 2011),
- La flexibilité liée à la main d'œuvre : la capacité de l'employé à effectuer un certain nombre et variété de tâches sans une perte considérable de la performance (Tseng & Lin, 2011)

En plus de la capacité du contrôle des ressources, d'autres chercheurs ont présenté la flexibilité d'approvisionnement dans la chaîne logistique, et ont défini cette dimension par la capacité de l'entreprise à évaluer la performance des fournisseurs à suivre la dynamique de la demande en termes de coûts, de délais, de volume et de variétés (Baramichai et al., 2007; Chiang et al., 2012; Ismail & Sharifi, 2006; Samantra et al., 2013). D'ailleurs la méthode efficace pour augmenter l'agilité d'une chaîne logistique est de maintenir un large accès aux réseaux des fournisseurs (Kilubi, 2016; Purvis, Gosling, & Naim, 2014).

Swafford et al. (2006) ont montré que la flexibilité accrue de production et d'approvisionnement impacte positivement l'agilité des chaînes logistiques. Khan K et al. (2009) ont ajouté que la flexibilité de livraison est le facteur qui différencie une entreprise plus agile d'une moins agile.

Charles et al. (2010) ont défini la flexibilité de livraison par la possibilité de changer la date de livraison prévue et Samantra et al. (2013) ont ajouté la possibilité de changer le volume de produits à livrer.

La flexibilité liée au développement de produit est la capacité du système à introduire de nouveaux produits, à effectuer des modifications des produits existants et à ajuster la gamme de produits pour répondre à la dynamique du marché tout en gardant un délai de mise en marché et un coût raisonnables (Charles et al., 2010; Chiang et al., 2012).

2.2.3.2.2 *La réactivité*

La réactivité est une capacité organisationnelle permettant de décrire le comportement d'un système (Santos Bernardes & Hanna, 2009), ce terme a été utilisé pour la première fois par les spécialistes de la logistique pour désigner certaines pratiques spécifiques du service à la clientèle (Li, X. et al., 2008). Sufian et Monideepa (2013) démontrent que la réactivité est une dimension de l'agilité qui sert à améliorer la performance de la chaîne logistique.

La réactivité est la capacité d'identifier les changements, de répondre à ces changements de manière rapide et de récupérer de ces changements (Lin et al., 2006). Charles et al. (2010) ont ajouté que les réactions doivent être réalisées dans un délai approprié.

La réactivité de la chaîne logistique est le résultat de l'intégration de deux dimensions complémentaires, la première est la capacité de rester vigilant aux changements (opportunités / défis) et la deuxième est la capacité de répondre rapidement à ces changements (Li, X. et al., 2008). Par exemple, une entreprise agile est capable de détecter rapidement lorsqu'un compétiteur gagne plus de part de marché avec son produit et réagit en introduisant un produit compétitif au marché (Tseng & Lin, 2011).

La dimension de la vigilance est la capacité de chercher et de détecter rapidement les changements, les opportunités et les menaces, que ce soit au niveau interne ou externe à l'entreprise (Gligor et al., 2013; Li, X., Goldsby, & Holsapple, 2009). La prévision stratégique et la connaissance systémique sont les deux capacités décrivant cette dimension (Li, X. et al., 2008).

- Selon Tseng et Lin (2011), la prévision stratégique consiste à anticiper les discontinuités de l'environnement commercial et du marché (p. ex. la demande des clients), les menaces et les opportunités dans la chaîne étendue de l'entreprise (p. ex. les sources

d'approvisionnement, la planification et l'ordonnancement de la production, le niveau des stocks et les réseaux de distribution) et les mouvements perturbateurs de ses concurrents (p. ex. les plans des promotions),

- Selon Li, X. et al. (2008), la connaissance systémique consiste à prendre en compte les interconnexions entre les capacités organisationnelles et les opportunités émergentes du marché.

La dimension de la réponse est la capacité d'utiliser les changements intégrés aux processus organisationnels (Li, X. et al., 2009) et comporte quatre composants permettant de sélectionner et d'exécuter les actions adéquates: l'évaluation, la coordination, la reconfiguration et l'apprentissage (Li, X. et al., 2008).

La réactivité est une fonction de réaction, de rapidité, d'aisance et de visibilité (Charles et al., 2010)

- la réaction est la capacité de détecter, de percevoir, d'évaluer et de prendre les bonnes actions (Charles et al., 2010; Tseng & Lin, 2011),
- La rapidité est d'un côté la rapidité avec laquelle on va détecter les changements imprévisibles de la demande ainsi que l'efficacité de transmettre le signal et recevoir une réponse intelligente de la chaîne logistique (Tseng & Lin, 2011), de l'autre côté, est la rapidité d'effectuer des tâches et des opérations dans les plus brefs délais (Lin et al., 2006; Tseng & Lin, 2011),
- L'aisance : plus importante que la rapidité, est la capacité de réagir avec aisance quand les événements ne se déroulent pas comme prévu, et la facilité de détecter et de répondre aux changements (Hofman & Cecere, 2005),
- La visibilité est la capacité de connaître l'identité, l'emplacement et le statut des entités transitant par la chaîne logistique, capturés dans des messages concernant les événements, ainsi que les dates / heures prévues et réelles pour ces événements (Charles et al., 2010).

2.2.3.2.3 *La robustesse*

Le mot robuste veut dire fort et résistant. En chaîne logistique, la robustesse est la capacité de maintenir les fonctions d'un système lorsqu'il est confronté à des changements dans la structure interne ou l'environnement extérieur (Xu et al., 2003). Les auteurs ont précisé que la robustesse

n'est pas seulement liée à la robustesse d'une entreprise dans la chaîne logistique, mais aussi à la robustesse de la structure du réseau de la chaîne logistique.

Selon Wieland et Marcus Wallenburg (2012), la robustesse est une stratégie proactive qui peut être définie comme la capacité d'une chaîne logistique à résister aux changements sans adapter sa configuration initiale stable et à rester insensible aux facteurs de bruits.

(Baramichai et al., 2007) ont proposé un modèle d'intégration de l'agilité dans la chaîne logistique et ont utilisé la robustesse en plus de l'adaptabilité, du coût et du délai comme indicateurs d'évaluation de l'agilité. Ismail et Sharifi (2006) ont développé une approche de développement des chaînes logistiques agiles dans laquelle les auteurs considèrent la robustesse, la flexibilité, l'innovation et la qualité de service comme des propriétés stratégiques de la chaîne logistique. Vinodh, Prakash et Selvan (2011) ont proposé une approche d'évaluation de l'agilité en se basant sur la logique floue et ont considéré la robustesse, la flexibilité, la rapidité, l'innovation et le coût comme attributs d'évaluation.

2.2.3.2.4 *La résilience*

La résilience met l'accent sur la perturbation (Charles et al., 2010) et est un terme réservé aux catastrophes (perturbations inattendues dans l'approvisionnement, la demande, les processus et l'environnement extérieur) (Christopher & Peck, 2004).

Selon Christopher et Peck (2004), la résilience est la capacité de réagir efficacement après des perturbations inattendues. Les auteurs ont classifié les risques de perturbation selon quatre catégories (les risques d'approvisionnement, les risques dans le processus, les risques dans la demande et les risques environnementaux). Pour faire face à ces risques, les auteurs ont proposé une méthode en cinq étapes pour intégrer la résilience dans les chaînes logistiques (choisir des stratégies qui maintiennent plusieurs options ouvertes dans la chaîne logistique, réévaluer l'efficacité des stocks pour éliminer tout gaspillage, développer le travail collaboratif, améliorer la rapidité de la chaîne logistique à travers des processus simplifiés et la réduction des activités à non-valeur ajoutée et finalement créer une culture de gestion des risques, tout au long de la chaîne logistique).

D'après Cabral et al. (2012), la résilience d'une chaîne logistique est la possibilité de revenir vers un état d'origine ou vers un nouvel état plus souhaitable après une perturbation tout en évitant

l'apparition des modes de défaillance. Pour faire face à ces perturbations, les auteurs ont défini d'autres principes pour intégrer la résilience dans chaîne logistique (la planification de la production doit être basée sur un système d'information intégré tout au long de la chaîne, créer une culture de gestion des risques de la chaîne logistique, choisir des fournisseurs d'une manière flexible et ajouter des stocks de sécurité dans les points critiques de la chaîne).

L'intégration de la résilience dans la chaîne logistique n'assure pas le plus bas coût, mais elle assure un avantage concurrentiel face à l'environnement volatile du marché avec plusieurs variétés de produits et des délais de mise en marché de plus en plus courts (Tukamuhabwa et al., 2015).

Bien que Tuan (2016); Yusuf, Musa, et al. (2014) aient montré que la résilience est une caractéristique des organisations agiles, d'autres chercheurs ont considéré que la résilience et l'agilité sont deux aspects indépendants permettant d'améliorer la performance de la chaîne logistique (Cabral et al., 2012; Charles et al., 2010; Christopher & Peck, 2004; Tukamuhabwa et al., 2015).

2.2.3.2.5 *L'innovation*

L'innovation est la capacité de l'entreprise et de sa chaîne d'approvisionnement à développer et à introduire de nouveaux produits, procédés ou technologies en réponse aux changements structurels de l'environnement du marché (Eckstein et al., 2015).

Vinodh et al. (2011) considèrent l'innovation comme un attribut de l'évaluation de l'agilité en plus de la robustesse, la flexibilité, la rapidité, et le coût. Gligor et Holcomb (2012b) considèrent l'innovation comme un des objectifs de l'agilité permettant de créer un avantage concurrentiel dans un environnement de marché en évolution rapide et Ismail et Sharifi (2006) considèrent que le niveau d'innovation impliqué dans le développement et la fabrication du produit affecte la stratégie de la chaîne logistique à intégrer l'agilité. Kim et Chai (2017) ajoutent que l'innovation des fournisseurs permet d'atteindre l'agilité des chaînes logistiques.

Pour Yusuf, Musa, et al. (2014), les chaînes logistiques agiles doivent mettre en place des infrastructures pour encourager l'innovation, pour cela Braunscheidel et Suresh (2009); Gligor et Holcomb (2014) proposent l'intégration des processus internes et externes (fournisseurs et clients). Li, G., Lin, Wang et Yan (2006) ajoutent le partage des informations en temps réel avec les fournisseurs et Tse et al. (2016) proposent la création d'une culture d'apprentissage.

2.2.3.2.6 *L'adaptabilité*

L'agilité, la flexibilité et l'adaptabilité sont souvent confondues et utilisées pour la même chose (Li, G. et al., 2006; Li, X. et al., 2008; Santos Bernardes & Hanna, 2009). L'adaptabilité prépare les membres de la chaîne logistique à s'adapter aux différentes situations auxquelles ils font face et à obtenir l'avantage concurrentiel souhaité (Dubey et al., 2018).

L'adaptabilité de la chaîne logistique est définie par Eckstein et al. (2015) comme la capacité de l'entreprise à détecter des changements à long terme dans la chaîne logistique et dans l'environnement du marché (ex. progrès économiques, changements politiques et sociaux, changements démographiques, avancées technologiques) et à réagir à ces changements en adaptant de manière flexible la configuration de la chaîne d'approvisionnement (ex. développement de nouvelles bases d'approvisionnement, déplacement des installations de production, sous-traitance).

Dwayne Whitten, Green et Zelbst (2012) ont défini l'adaptabilité comme la capacité d'adapter la conception de la chaîne logistique pour faire face aux changements structurels des marchés et de modifier les stratégies, les technologies et les produits pour refléter les changements dans le réseau d'approvisionnement.

Swafford et al. (2006) considèrent l'adaptabilité comme une dimension de la flexibilité et définissent l'adaptabilité comme étant la capacité de passer d'un état à l'autre d'une manière efficace en temps et en coût. Pour Samantra et al. (2013), l'agilité est une fonction d'adaptabilité et de rapidité de réponse proactive à la dynamique de l'environnement. Dubey et Gunasekaran (2016) montrent que l'adaptabilité conduit à l'agilité de la chaîne logistique et que cette dernière améliore la performance de la chaîne globale.

L'agilité est mesurée par la capacité d'adapter rapidement le service ou le produit aux besoins des clients (Tuan, 2016). Selon Dwayne Whitten et al. (2012), les entreprises performantes favorisent l'adaptabilité en surveillant les économies mondiales pour identifier de nouvelles bases d'approvisionnement et de nouveaux marchés, en utilisant des intermédiaires pour développer de nouveaux fournisseurs et une infrastructure logistique, en évaluant les besoins des clients, en créant des concepts flexibles de produits et en déterminant la position des produits en termes de technologie et de cycle de vie des produits.

2.2.3.3 Les leviers d'amélioration

2.2.3.3.1 Les stratégies

Les approches stratégiques d'amélioration de la performance de la chaîne logistique sont l'aspect le plus important dans l'atteinte de l'agilité de la chaîne logistique, et sans stratégies appropriées, même les technologies, les systèmes et les compétences ne sont pas suffisants (Balaji et al., 2015). Les stratégies identifiées sont classées en stratégies de gestion des approvisionnements, stratégies de gestion de la demande, stratégies de gestion de la production et stratégies de gestion de l'organisation et de l'information.

2.2.3.3.1.1 Stratégies de gestion des approvisionnements(GA)

L'établissement d'une alliance stratégique avec les fournisseurs est un aspect cité dans les travaux de Bottani (2009, 2010); Charles et al. (2010); Lin et al. (2006); Narayanan, Narasimhan et Schoenherr (2015); Sangari et al. (2015); Sufian et Monideepa (2013); Tseng et Lin (2011); Tuan (2016); Vinodh et al. (2011); Yang, J. (2014); Yusuf, Gunasekaran, et al. (2014); Yusuf, Musa, et al. (2014). Quatre actions sont importantes dans l'établissement de la stratégie de gestion des approvisionnements pour améliorer l'agilité des chaînes logistiques.

Premièrement, la création de partenariats stratégiques (PS) avec les fournisseurs permet de résoudre conjointement les problèmes (Tarafdar & Qrunfleh, 2017) et améliorer la fiabilité, la qualité de coordination et la performance de livraison (Wu, C. & Barnes, 2018). L'établissement d'une relation de confiance avec les fournisseurs permet de les introduire dans les activités de développement de produits (Um, 2017; Vinodh et al., 2011; Wu, K. J., Tseng, Chiu, & Lim, 2017), d'établissement des objectifs (Agarwal, Shankar, & Tiwari, 2007; Lin et al., 2006; Tarafdar & Qrunfleh, 2017) et de communication des prévisions à long terme de la demande et des risques associés, des informations liées à l'introduction de nouveaux produits, aux variantes de produits, aux modifications d'ingénierie de produits et à d'autres événements ayant une influence importante sur la demande future ou l'évolution de la demande des produits (Xu et al., 2003). Ces aspects permettent aux fournisseurs de vérifier leurs capacités, et de prendre des décisions concernant les investissements futurs (ex. achat des nouvelles machines ou recrutement d'un nouveau salarié) (Gligor & Holcomb, 2012a; Kim & Chai, 2017). Baramichai et al. (2007) ajoutent que la relation avec les fournisseurs peut prendre plusieurs formes, allant d'une relation à court terme qui va

permettre de répondre à une situation particulière, à une relation de collaboration à long terme qui est étendue jusqu'au niveau stratégique.

Deuxièmement, l'approvisionnement stratégique (AS) consiste à intégrer l'approvisionnement dans le processus de planification stratégique de l'entreprise, à faire appel à plusieurs fournisseurs pour des achats multiples et en utilisant des contrats flexibles afin de réduire les risques de rupture (Blome, Schoenherr, & Rexhausen, 2013; Bottani, 2010; Chiang et al., 2012; Galankashi & Helmi, 2016; Gligor & Holcomb, 2014; Kim & Chai, 2017). Si un fournisseur se désiste en raison de problèmes de qualité ou d'autres problèmes de livraison, au moins un autre fournisseur reste disponible pour assurer la livraison des pièces (Kilubi, 2016; Mason et al., 2002; Wieland & Marcus Wallenburg, 2012; Wu, C. & Barnes, 2018). Aitken et al. (2002) proposent de diviser la commande entre un fournisseur loin qui coûte moins cher et un fournisseur proche même s'il est plus cher. Wu, C. et Barnes (2010, 2012) présentent 116 critères de sélection des fournisseurs dans le cas d'une chaîne logistique agile. Ces critères sont groupés en 7 catégories (gestion de la production et de la logistique, gestion des partenariats, gestion des connaissances, gestion des ressources humaines, capacités financières du fournisseur, capacités de marketing et la compétitivité).

Troisièmement, encourager les fournisseurs à innover (INN) permet d'améliorer la réactivité des fabricants aux changements du marché et a une influence positive sur l'agilité de la chaîne logistique (Kim & Chai, 2017).

Quatrièmement, le développement des fournisseurs (DF) consiste à porter assistance financière et technologique aux fournisseurs, ainsi qu'à former des fournisseurs en matière de qualité. Cela permet d'améliorer les performances et de réduire les incertitudes et les risques de rupture (Bottani, 2009; Chiang et al., 2012).

2.2.3.3.1.2 Stratégies de gestion de la demande (GD)

Trois actions sont importantes dans l'établissement de la stratégie de gestion de la demande pour améliorer l'agilité des chaînes logistiques.

Premièrement, la maîtrise de la volatilité du marché (VM) par les partenaires de la chaîne permet de rendre une chaîne logistique plus agile (Dubey et al., 2018; Pandey & Garg, 2009), la volatilité du marché dépend de

- la sensibilité au client et au marché : la capacité de collecter les réactions des clients sur le produit, traduire les besoins des clients en langage technique, et communiquer les bonnes informations au bon moment aux employés pour exécuter les actions nécessaires (Agarwal et al., 2007; Brusset, 2016; Charles et al., 2010; Galankashi & Helmi, 2016; Kisperska-Moron & Swierczek, 2009; Lin et al., 2006; Scholten, Sharkey Scott, & Fynes, 2010; Tseng & Lin, 2011; VanHoek et al., 2001; Vinodh et al., 2011; Vinodh et al., 2008).
- le potentiel du marché : l'étude de la demande et sa faisabilité en vérifiant rapidement la capacité et la disponibilité des produits sur les réseaux de distribution lorsque de nouvelles commandes ou des modifications importantes sont attendues (Blome et al., 2013; Xu et al., 2003; Yang, J., 2014).
- l'intensité de la concurrence : la veille concurrentielle en termes de prix, de nouveaux produits, d'amélioration des produits, de nouveaux procédés et de nouveaux marchés (Tuan, 2016).

Deuxièmement, l'amélioration de la performance de livraison (PL), cette dernière a un impact positif sur l'agilité des chaînes logistiques (Al-Shboul, 2017; Costantino, Dotoli, Falagario, Fanti, & Mangini, 2012). Pandey et Garg (2009) mesurent cette performance par 4 variables, le délai de livraison (le temps entre le placement d'une commande et sa réception par le client), le délai de passage (le temps pour compléter une commande depuis sa production), le niveau de service (le pourcentage des commandes livrées à temps) et le retard moyen (le temps moyen des retards).

Troisièmement, la satisfaction du client (SC) par l'évaluation des plaintes formelles et informelles, le suivi et la mesure des niveaux de service et l'établissement d'un suivi auprès des clients pour obtenir des commentaires sur la qualité et le service (Um, 2017), de plus Tarafdar et Qrunfleh (2017) ajoutent qu'il faut déterminer les attentes des futurs clients et faciliter la capacité des clients à demander de l'aide.

2.2.3.3.1.3 Stratégies de gestion de la production (GP)

Cochran et Marquez Uribe (2005); Rahimnia et Moghadasian (2010); Xu et al. (2003) proposent une gestion des commandes et une planification de la production de manière à garder une visibilité sur les calendriers de commande et de consommations pour les entreprises en amont du réseau logistique et une visibilité sur les niveaux de stocks et les calendriers de livraison des entreprises

en aval du réseau logistique dans le but de détecter et de résoudre rapidement les problèmes de planification.

La planification (PI) doit être collaborative et centralisée avec les partenaires de la chaîne logistique de manière à réduire l'état des stocks et les délais de mise en marché, augmenter les ventes et améliorer la satisfaction des clients (Agarwal et al., 2007).

L'exécution (Ex) de la planification doit être à court terme tout en gardant accès à un réseau stratégique, de manière à éliminer l'inventaire (Vinodh et al., 2008). La méthode juste-à-temps (JIT) (Christopher & Denis, 2001; Goldsby et al., 2006; Pandey & Garg, 2009; Power, Sohal, & Rahman, 2001; Qamar & Hall, 2018), la stratégie « Postponement » (Aitken et al., 2002; Charles et al., 2010; Herer, Tzur, & Yücesan, 2002; Scholten et al., 2010; Wieland & Marcus Wallenburg, 2012), la modularité et la fabrication en cellules (Um, 2017) sont des stratégies de gestion de la variété permettant d'améliorer l'agilité de la chaîne logistique. Agarwal et al. (2007); Bottani (2009); Jain et al. (2008b); Qamar et Hall (2018) ajoutent que la qualité est un aspect important à considérer au détriment du coût et de la durée de vie.

2.2.3.3.1.4 Stratégies de gestion de l'organisation et de l'information (GOI)

Trois actions sont importantes dans l'établissement de la stratégie de gestion de l'organisation et de l'information pour améliorer l'agilité des chaînes logistiques.

Premièrement, l'intégration de l'information (II) à travers l'utilisation des nouvelles technologies permet de partager les informations en temps réel (Chiang et al., 2012; Jain et al., 2008b; Kim & Chai, 2017; Li, G. et al., 2006; Lin et al., 2006), de les garder accessibles et permet d'établir une connexion virtuelle à l'échelle de la chaîne logistique (Dubey et al., 2018; Wu, K. J. et al., 2017), ce qui permet de détecter et analyser rapidement les changements (Swafford et al., 2008).

Deuxièmement, l'intégration des processus (IP) va permettre de créer de la valeur ajoutée, partager les processus, exécuter en parallèle plusieurs activités du fournisseur jusqu'au client final, et va permettre d'opérer de manière fluide tout au long de la chaîne logistique en incluant l'information, les connaissances et les équipements (Agarwal et al., 2007; Bottani, 2009; Jain et al., 2008b; Kisperska-Moron & de Haan, 2011; Naim & Gosling, 2011; Pandey & Garg, 2009; Scholten et al., 2010; Tse et al., 2016; Tseng & Lin, 2011; VanHoek et al., 2001; Yusuf et al., 2004).

Troisièmement, l'automatisation (Aut), permettant de faciliter les tâches dans les usines et les bureaux est tout aussi importante pour l'amélioration de l'agilité (Pandey & Garg, 2009; Vinodh et al., 2008).

2.2.3.3.2 *Les technologies*

Plusieurs travaux soulignent l'intérêt de l'utilisation des technologies pour l'amélioration de l'agilité des chaînes logistique (Bottani, 2010; Brusset, 2016; Kisperska-Moron & Swierczek, 2009; Qamar & Hall, 2018; Swafford et al., 2008; White et al., 2005; Yang, J., 2014). En effet, l'utilisation des outils de la technologie de l'information et de la communication (TIC) permet de rapprocher les entreprises qui sont loin géographiquement (Pandey & Garg, 2009).

À travers internet, la technologie RFID³ et les systèmes d'échange de données informatisé (EDI), plusieurs parties prenantes peuvent accéder simultanément à un fichier, une base de données et réagir à une demande en temps réel (Agarwal et al., 2006; Vinodh et al., 2011)

L'utilisation des technologies d'information et de communication permet d'identifier, collecter, analyser et communiquer les informations du marché avec les entreprises de la chaîne logistique (DeGroote & Marx, 2013), une telle transparence dans les changements réalisés apparaîtra aux fournisseurs et aux clients, et permettra aux équipes inter-organisationnelles de prendre des initiatives pour maîtriser les changements et coordonner les réponses à ces changements de manière dynamique avec peu de pénalités en termes de temps, coûts et qualité (Agarwal et al., 2007; Bottani, 2009; Galankashi & Helmi, 2016; Kisperska-Moron & de Haan, 2011; Yusuf et al., 2004).

2.2.3.3.3 *Les systèmes*

En adoptant les bonnes stratégies, plusieurs systèmes informatiques peuvent être utilisés pour une gestion agile de la chaîne logistique.

Les systèmes sont l'ensemble des logiciels et outils d'aide à la décision pour la conception et la fabrication, les opérations de planification et de contrôle, et la gestion des bases de données.

³ RFID (Radio Frequency Identification) est une technologie permettant de mémoriser et de récupérer des données à distance en utilisant des marqueurs appelés « radio-étiquettes » (Vinodh & Prasanna, 2011)

En ce qui concerne les systèmes de conception et de fabrication, les systèmes de conception assistée par ordinateur (CAO) (Power et al., 2001), et les systèmes de fabrication assistée par ordinateur (FAO) (Yusuf et al., 2004) permettent de créer un environnement intégrant toute la conception et la fabrication et améliorent tous les niveaux de décision et de contrôle. Les systèmes de test informatisé (CAT) « Computer Aided Testing » et les outils d'assemblage automatisé (AA) (Bottani, 2010), les systèmes de prototypage rapide (Qamar & Hall, 2018) et les infrastructures pour encourager l'innovation dans de courts délais (Lin et al., 2006) ont un impact positif sur l'agilité des chaînes logistiques.

Pour les systèmes de planification et de contrôle de la production permettant d'améliorer l'agilité de la chaîne logistique, Christopher et Denis (2001); Collin et Lorenzin (2006); Pandey et Garg (2009) proposent l'utilisation des modèles collaboratifs de planification, de prévision, et de réapprovisionnement (CPFR). Bottani (2010) ajoute l'utilisation des progiciels de gestion intégrée (PGI – ERP), les systèmes de management par la qualité totale (MQT), et les systèmes de planification des processus assistée par ordinateur (CAPP).

Bottani (2010); Power et al. (2001) proposent les systèmes de gestion d'informations et les systèmes d'échange de données informatisé (EDI) pour la gestion et l'intégration des bases de données.

2.2.3.3.4 Les compétences humaines

Plusieurs initiatives liées aux compétences humaines permettent d'améliorer l'agilité des chaînes logistiques.

Le partage du savoir-faire et l'intégration des compétences entre organisations permettent de suivre les attentes des clients tout en réduisant les temps de mise en marché des produits (Bottani, 2009; Qamar & Hall, 2018; Yusuf et al., 2004).

La formation et l'éducation des employés en se concentrant sur des éléments de la stratégie concurrentielle (Blome et al., 2013; Kim & Chai, 2017) permettent aux équipes de s'autogérer, de faire face aux obstacles culturels, de communication, inter-fonctionnels et améliore la communication et le travail en équipe (Tarafdar & Qrunfleh, 2017; Vinodh et al., 2008; Yusuf, Gunasekaran, et al., 2014). Yusuf, Musa, et al. (2014) ajoutent qu'il faut accorder de plus en plus

Tableau 2.6 (suite) : Synthèse des travaux par rapport aux dimensions du cadre d'analyse

<div> <div>Dimensions</div> <div>Références</div> </div>	Facteurs-conducteurs							Objectifs						Leviers d'amélioration			
	Marché	Produit	Client	Fournisseurs	Technologie	Législations	Risques	Flexibilité	Réactivité	Robustesse	Résilience	Innovation	Adaptabilité	Stratégies	Technologies	Systèmes	Personnes
Christopher et Peck (2004)											√						
Yusuf et al. (2004)	√	√	√		√	√								√	√		√
Cochran et Marquez Uribe (2005)														√			
Shaw et al. (2005)																	√
White et al. (2005)															√		
Agarwal et al. (2006)	√	√	√	√	√									√	√		
Baker (2006)	√	√	√														
Lin et al. (2006)	√		√		√	√		√	√				√	√		√	
Collin et Lorenzin (2006)									√					√			
Goldsby et al. (2006)								√	√					√			
Ismail et Sharifi (2006)	√	√			√			√		√		√					
Li, G. et al. (2006)												√		√			
Oloruntoba et Gray (2006)							√				√						
Swafford et al. (2006)								√					√				
Verma, Alok K. (2006)								√						√			
Agarwal et al. (2007)														√	√		√
Baramichai et al. (2007)	√	√		√		√		√	√	√				√			
Verma, Alok K (2007)								√						√			
Jain et al. (2008a)	√	√		√				√	√								
Jain et al. (2008b)	√		√		√			√	√				√	√	√	√	√
Li, X. et al. (2008)	√							√	√				√				
Baker (2008)		√															
Swafford et al. (2008)								√							√		
Vinodh et al. (2008)	√		√											√	√		√
Santos Bernardes et Hanna (2009)	√	√	√		√			√	√								
Braunscheidel et Suresh (2009)								√				√					
Bottani (2009)														√	√		√
Khan K et al. (2009)	√		√					√									
Kisperska-Moron et Swierczek (2009)														√	√		
Li, X. et al. (2009)									√								
Pandey et Garg (2009)	√		√					√	√					√	√	√	

Tableau 2.6 (suite) : Synthèse des travaux par rapport aux dimensions du cadre d'analyse

<div>Dimensions</div> <div>Références</div>	Facteurs-conducteurs							Objectifs						Leviers d'amélioration			
	Marché	Produit	Client	Fournisseurs	Technologie	Législations	Risques	Flexibilité	Réactivité	Robustesse	Résilience	Innovation	Adaptabilité	Stratégies	Technologies	Systèmes	Personnes
Gligor (2014)	√		√		√			√	√					√			
Gligor et Holcomb (2014)												√		√			
Purvis et al. (2014)								√									
Yang, J. (2014)														√	√		
Yusuf, Gunasekaran, et al. (2014)														√			√
Yusuf, Musa, et al. (2014)									√		√	√		√			√
Balaji et al. (2015)								√	√								
Eckstein et al. (2015)	√	√	√	√	√			√	√			√	√				
Fayezi et al. (2015)								√	√								
Gligor et al. (2015)	√	√	√	√	√												
Narayanan et al. (2015)														√			
Oloruntoba et Kovács (2015)							√				√						
Sangari et Razmi (2015)														√			√
Sangari et al. (2015)									√								
Tukamuhabwa et al. (2015)							√				√						
Brusset (2016)									√					√		√	
Dubey et Gunasekaran (2016)													√				
Gaudenzi et Christopher (2016)	√		√														
Gligor (2016)	√																
Gligor (2016)	√	√	√	√	√		√	√	√								
Kilubi (2016)							√	√		√				√			√
Galankashi et Helmi (2016)														√	√		
Tse et al. (2016)	√		√									√		√			
Tuan (2016)	√	√	√					√	√		√		√	√			
Al-Shboul (2017)														√			
Kim et Chai (2017)	√											√		√			
Tarafdar et Qrunfleh (2017)	√	√	√											√		√	
Um (2017)														√			

Tableau 2.6 (suite) : Synthèse des travaux par rapport aux dimensions du cadre d'analyse

<div>Dimensions</div> <div>Références</div>	Facteurs-conducteurs						Objectifs						Leviers d'amélioration				
	Marché	Produit	Client	Fournisseurs	Technologie	Législations	Risques	Flexibilité	Réactivité	Robustesse	Résilience	Innovation	Adaptabilité	Stratégies	Technologies	Systèmes	Personnes
Wu, K. J. et al. (2017)														√			
Dubey et al. (2018)													√	√			
Qamar et Hall (2018)														√	√	√	√
Wu, C. et Barnes (2018)														√			

La figure 2.6 montre le nombre d'articles traitant chaque dimension dans le cadre d'analyse par rapport au nombre total d'articles sélectionnés dans cette revue de littérature. Si un article traite deux dimensions à la fois (ex. objectifs et leviers d'amélioration), il sera compté deux fois.

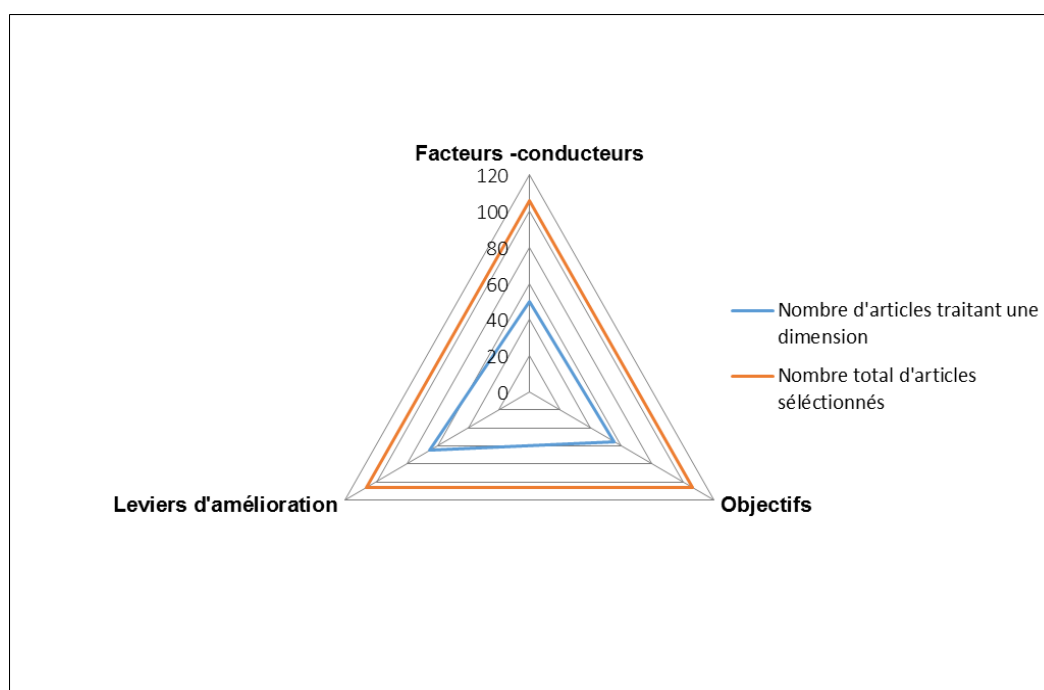


Figure 2.6 : Nombre total d'articles traitant chaque dimension du cadre d'analyse

Nous remarquons qu'en moyenne, 53% (50/106 pour les facteurs-conducteurs, 55/106 pour objectifs et 65/106 pour les leviers d'amélioration) des travaux publiés traitent une dimension du cadre d'analyse et que les leviers d'amélioration sont la dimension la plus citée dans les travaux sur l'agilité des chaînes logistiques, suivis des objectifs et des conducteurs.

Trois dimensions ont émergé du cadre d'analyse, les facteurs-conducteurs, les objectifs et les leviers d'amélioration. La première dimension englobe 7 aspects-conducteurs de l'agilité dans la gestion des chaînes logistiques : le marché, le produit, le client, les fournisseurs, la technologie, la législation et les risques. Le nombre des références traitant chaque aspect est présenté dans la figure 2.7.

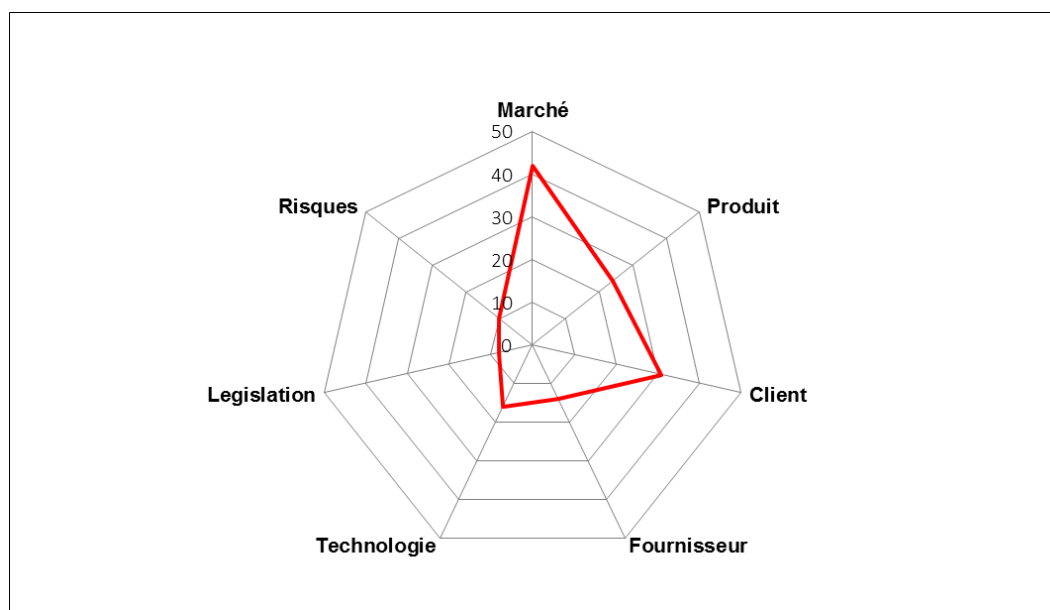


Figure 2.7 : Nombre d'articles traitant les différents types de facteurs-conducteurs

Les changements provenant du marché et du client sont les deux conducteurs les plus analysés dans la littérature, ceci est logique puisque le cœur de l'agilité est de satisfaire le client et de s'adapter rapidement à la dynamique du marché. Bien que les spécificités des produits et les technologies changent de manière rapide dans l'environnement industriel actuel, moins de la moitié des travaux ont analysé ces deux facteurs-conducteurs de l'agilité.

Les changements liés aux fournisseurs ont été peu considérés dans la littérature quoiqu'un des principaux objectifs de la gestion de la chaîne logistique est l'intégration de toutes les parties prenantes du réseau, ceci est dû au fait que quelques travaux considèrent que l'agilité de la chaîne logistique se limite à la relation avec le client.

Finalement, les changements liés aux législations ainsi qu'aux risques imprévisibles n'ont été discutés que par une dizaine d'articles, ceci est dû au fait que plusieurs travaux considèrent que l'agilité ne répond qu'aux changements prévisionnels et que la résilience qui consiste à répondre aux imprévus est un concept indépendant de l'agilité.

Le tableau 2.7 récapitule tous les facteurs-conducteurs de l'agilité dans la chaîne logistique résultant de la revue de littérature.

Tableau 2.7 : Liste des facteurs-conducteurs de l'agilité

La technologie	Changements de la technologie (produit, processus, IT)
	L'introduction de nouvelles technologies
Les clients	Variation de la demande des clients en termes de volume
	Variation en termes de variétés
	Variation du délai de livraison
	Variation du délai de mise en marché
	Changement du besoin en termes de qualité
Aspect légal	Les changements des réglementations internationales
	La privatisation des entreprises publiques
	Les changements des réglementations d'approvisionnement
	Les fusions et acquisitions
Les facteurs sociaux	Les problèmes culturels
	Les changements des contrats sociaux
Le marché	La croissance du marché
	La pression de la concurrence
Les fournisseurs	Variation de la qualité des produits approvisionnés
	Variation du volume des produits approvisionnés
	Variation des délais d'approvisionnement
	Changements dans la disponibilité des fournisseurs
	Variation du coût des produits approvisionnés
Les risques inconnus	Météo, stabilité politique, catastrophe naturelle, accident, etc.
Les changements intra-organisationnels	La taille de l'entreprise et de son réseau
	Le nombre et l'hétérogénéité des tâches
	Les processus
	La variabilité des durées des tâches
	Le délai d'attente
	Les rejets et les modifications du produit
	La stabilité de la qualité des produits
	La stabilité du temps de mise en œuvre
	La stabilité du coût du processus
	La stabilité du coût de production
	Les pannes des machines
	Les changements de la main-d'œuvre

Le tableau 2.7 classifie ces changements selon leurs caractéristiques, les incertitudes prévisibles qui peuvent être gérées de manière efficace en utilisant des stratégies de planification et de contrôle adapté, d'autres changements liés à la dynamique et à la complexité de l'environnement industriel sont peu prévisibles, mais ont un impact négatif sur la performance des processus. Cette classification est importante parce que tous les partenaires doivent avoir une certaine compétence et expérience liée à chacun des types de changement.

La deuxième dimension propose six objectifs d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique : la réactivité, la flexibilité, la robustesse, la résilience, l'innovation et l'adaptabilité. La figure 2.8 présente le nombre de références traitant chaque objectif.

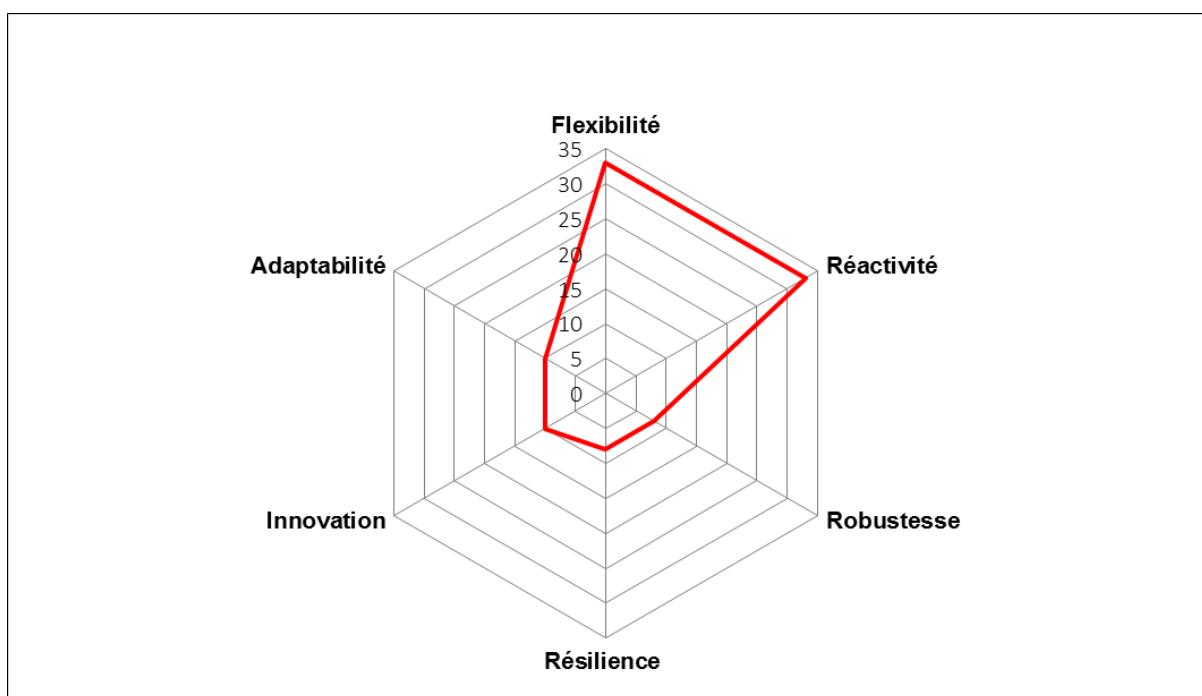


Figure 2.8 : Nombre d'articles traitant les différents objectifs de l'agilité

La réactivité et la flexibilité sont les deux objectifs les plus discutés dans la littérature, ce qui a du sens puisque la priorité de l'agilité est d'abord de répondre rapidement aux changements en utilisant des ressources flexibles. L'innovation et l'adaptabilité sont ensuite discutées par une dizaine d'articles et finalement la résilience et la robustesse ne sont discutées que par quelques articles. La majorité des travaux considèrent que ces deux derniers aspects sont indépendants de

l'agilité puisqu'ils sont orientés respectivement environnement extérieur et produits alors que la plupart des travaux considèrent que l'agilité n'est orientée que vers le client.

Le tableau 2.8 détaille les aspects de chaque objectif de l'agilité des chaînes logistiques résultant de la revue de littérature.

Tableau 2.8 : Liste des objectifs de l'agilité

Flexibilité	Flexibilité d'approvisionnement	Flexibilité du volume
		Flexibilité des délais
	Flexibilité de livraison	Flexibilité du volume
		Flexibilité des délais
	Flexibilité de production	Flexibilité du produit
		Flexibilité des machines
		Flexibilité de la main-d'œuvre
Flexibilité de développement de produit		
Réactivité	La capacité de rester vigilant	
	La capacité de répondre rapidement	
Robustesse - La capacité de maintenir l'efficacité à travers un ensemble de tâches, situations et conditions (Alberts & Hayes, 2003)		
Résilience - La capacité de se rétablir ou de s'ajuster d'un dommage ou d'un évènement perturbateur de l'environnement (Alberts & Hayes, 2003)		
Innovation - la capacité de produire de la nouveauté et la capacité de réaliser les vieilles choses d'une nouvelle manière (Alberts & Hayes, 2003)		
Adaptabilité - : la capacité de réaliser des changements dans les processus de travail et dans l'organisation (Alberts & Hayes, 2003)		

La troisième dimension traite les leviers d'amélioration en termes de stratégies d'amélioration, technologies, systèmes et compétences humaines. La figure 2.9 présente le nombre de références traitant chaque aspect des leviers d'amélioration.

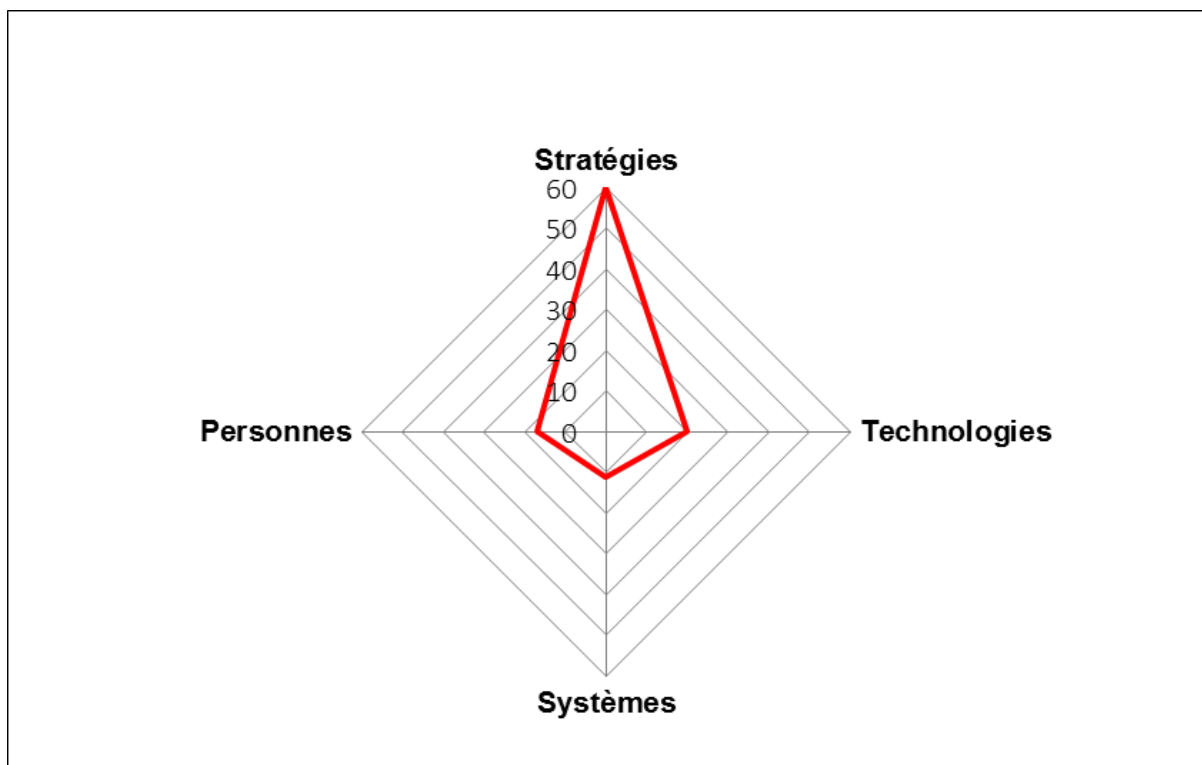


Figure 2.9 : Nombre d'articles traitant les types des leviers d'amélioration de l'agilité

Il est évident que les stratégies sont les premiers aspects à développer lors de la transformation des chaînes logistiques. Les stratégies développées vont guider le choix des systèmes, des technologies et des compétences humaines. Le tableau 2.9 résume les aspects traités dans chaque type de leviers d'amélioration étudiés.

Tableau 2.9 : Liste des leviers d'amélioration de l'agilité

Stratégies	Stratégies de gestion des approvisionnements (GA)	La création de partenariats stratégiques (PS)
		L'approvisionnement stratégique (AS)
		Encourager les fournisseurs à innover (INN)
		Le développement des fournisseurs (DF)
	Stratégies de gestion de la demande (GD)	La maîtrise de la volatilité du marché (VM)
		L'amélioration de la performance de livraison (PL)
		La satisfaction du client (SC)
	Stratégies de gestion de la production (GP)	La planification (Pl)
		L'exécution (Ex)
	Stratégies de gestion de l'organisation et de l'information (GOI)	L'intégration de l'information (II)
		L'intégration des processus (IP)
		L'automatisation (Aut)
Les technologies	La technologie de l'information et de la communication (TIC)	
Les systèmes	Les systèmes de conception et de fabrication	Les systèmes de conception assistée par ordinateur (CAO)
		Les systèmes de fabrication assistée par ordinateur (FAO)
		Les systèmes de test informatisé (CAT)
		Les outils d'assemblage automatisé (AA)
	Les systèmes de planification et de contrôle	Les modèles collaboratifs de planification, de prévision, et de réapprovisionnement (CPFR)
		Les progiciels de gestion intégrée (PGI-ERP)
		les systèmes de management par la qualité totale (MQT)
		Les systèmes de planification des processus assistée par ordinateur (CAPP)
	Les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données.	Les systèmes de gestion d'informations
		Les systèmes d'échange de données informatisé (EDI)
Les compétences humaines	Le partage du savoir-faire	
	L'intégration des compétences	
	La formation et l'éducation des employés	
	L'amélioration de la culture d'entreprise (culture du changement)	

Comme les stratégies représentent l'aspect le plus discuté dans la littérature, nous proposons une analyse plus poussée des stratégies, la figure 2.10 présente le nombre d'articles traitant chaque type de stratégie.

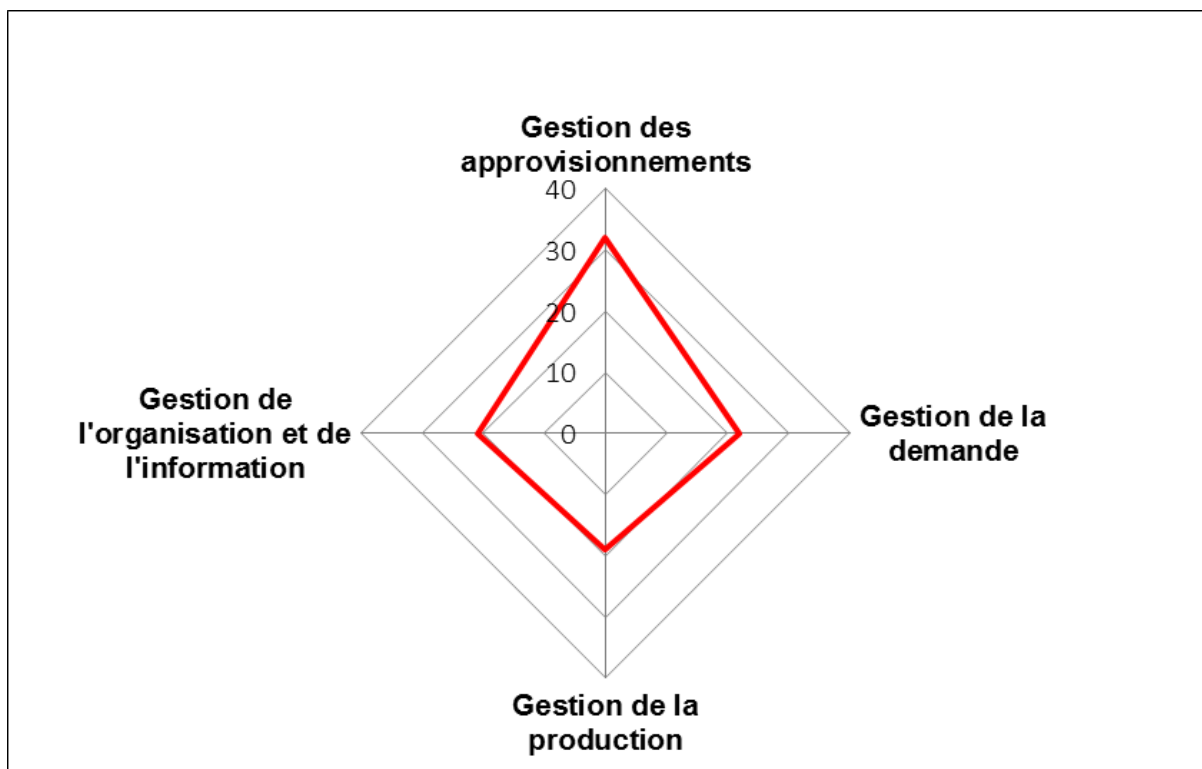


Figure 2.10 : Nombre d'articles traitant chaque type de stratégies

Nous remarquons que les stratégies liées à la gestion de l'approvisionnement sont les leviers les plus cités dans la littérature, les stratégies liées à la gestion de la demande, de la production, de l'organisation et de l'information sont citées à parts égales.

La figure 2.11 présente le nombre d'articles traitant les actions dans chacune des stratégies discutées auparavant. Nous constatons que les partenariats stratégiques et l'approvisionnement stratégique sont les actions les plus citées dans la gestion de l'approvisionnement. La maîtrise de la volatilité des marchés est l'action la plus citée dans la gestion de la demande, les actions liées à l'exécution sont plus citées que celles liées à la planification dans la gestion de la production et finalement l'intégration de l'information et des processus sont les deux actions les plus citées dans la gestion de l'organisation et de l'information.

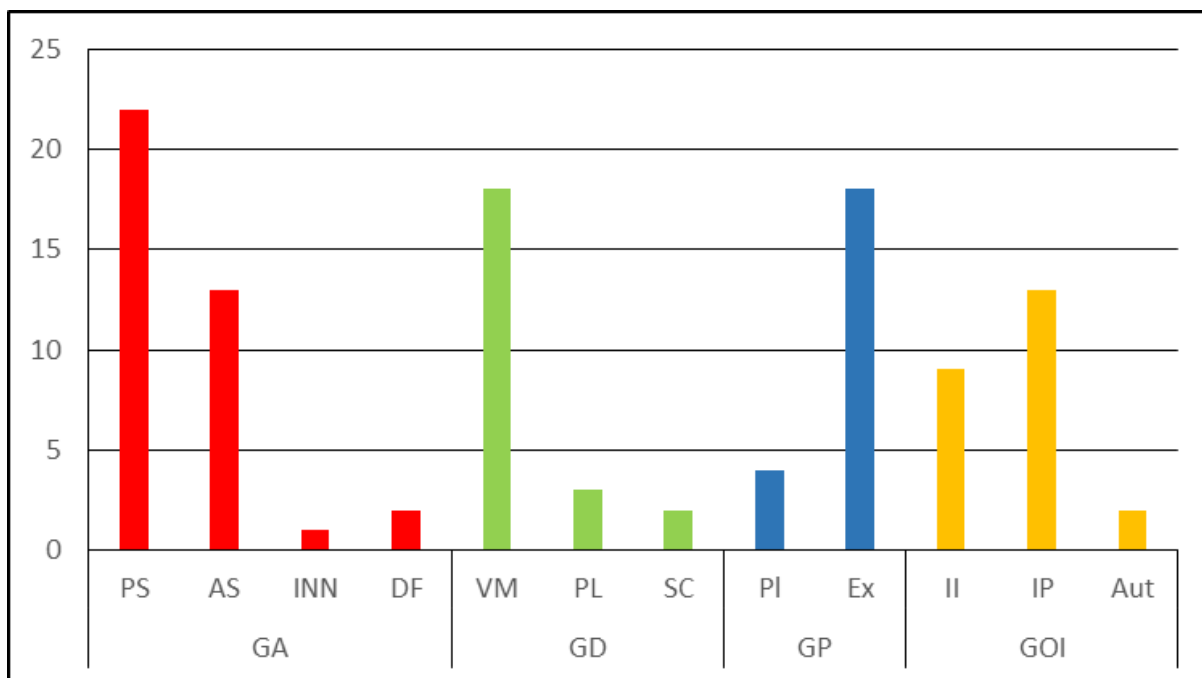


Figure 2.11 : Nombre d'articles traitant les actions dans chacune des stratégies

La partie suivante analyse les méthodes d'amélioration des processus d'affaires et plus spécifiquement ceux adaptés à l'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques.

2.3 Les méthodes d'amélioration des processus

Plusieurs chercheurs ont reconnu le besoin d'intégrer l'agilité dans la gestion de la chaîne logistique, mais à notre connaissance, très peu de chercheurs ont présenté une méthodologie structurée permettant de guider les industriels dans leur processus d'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques. En réponse à ce besoin, nous nous intéressons aux approches d'amélioration des processus d'affaires et leurs caractéristiques.

Les approches d'amélioration des processus d'affaires ont comme objectif d'améliorer la performance des processus d'affaires et de fournir des résultats aux clients internes et externes (Harrington, 1991). Les industriels utilisent ces approches d'amélioration comme un facteur concurrentiel pour s'adapter rapidement aux besoins du marché et ainsi livrer de nouveaux produits en respectant les délais, les coûts et la qualité (Zellner, 2011). (Andrée-Anne, Samir, Robert, & Simon, 2015; Coskun, 2008) ajoutent que ces approches sont de type incrémental et itératif.

(Zellner, 2011) a mené une revue de littérature sur les méthodologies de transformation des processus d'affaires et a évalué ces méthodologies existantes sur 5 aspects clés, qu'il a nommé « Mandatory Elements of a Method » et qui sont :

- les procédures ou activités à suivre pour la réalisation de la méthodologie;
- les techniques pour générer des résultats ou soutenir des activités;
- les résultats créés par une activité en forme d'artefact (ex. documents);
- les rôles et responsabilités de l'acteur qui réalise l'activité; et
- le modèle d'information pour décrire, d'une part, les éléments ci-dessus et leurs relations et d'autres part, pour représenter les résultats.

L'étude a montré que seulement 14 publications sur les 82 publications retrouvées présentaient explicitement comment améliorer un processus d'affaire et qu'aucune de ces 14 publications ne considérait le « Modèle d'information » dans le déploiement de la méthodologie et que les deux aspects « Résultats » et « Rôles » étaient rarement suggérés.

(Dresch, Lacerda, & Antônio Valle Antunes Jr, 2014) ont présenté les caractéristiques clés à considérer lors du développement d'une méthodologie en se basant sur la science de conception, ces caractéristiques sont les suivantes :

- les objectifs;
- les activités principales;
- les résultats;
- le type de connaissance;
- le rôle du chercheur;
- l'évaluation des résultats;
- l'approche; et
- les spécificités.

(Vanwersch et al., 2016) ont mené une revue de littérature systématique entre 1990 et 2011 sur les méthodes d'amélioration des processus d'affaires. En se basant sur un processus de recherche

structuré, les auteurs ont identifié 57 articles proposant des méthodes. À la suite de l'analyse de ces méthodes, les auteurs ont déterminé les critères clés auxquelles doit répondre une méthodologie. Ces critères sont les suivants :

- l'objectif de générer des idées d'amélioration des processus d'affaires;
- les acteurs humains responsables de restructurer les processus;
- les éléments d'entrées utiles pour la transformation du processus;
- les éléments de sortie (artefacts) résultant des sessions de transformation;
- les techniques indiquant comment générer des idées d'amélioration des processus d'affaires; et
- les outils permettant de soutenir les activités d'amélioration des processus.

Dans les méthodologies d'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques, aucune méthode ne se retrouve dans les travaux de Vanwersch et al. (2016). D'un côté, ces méthodologies ne sont développées que pour la gestion de la chaîne logistique. D'un autre côté, elles ne présentent pas le processus de déploiement de la méthodologie. Nous discutons chacun de ces travaux d'amélioration et présentons leurs limites.

(Balaji et al., 2015) ont proposé une méthode d'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques en utilisant un outil d'amélioration de l'agilité « Total Agile Design Systems » (TADS) regroupant les bases de la transformation en une entreprise agile. Leur méthode est basée sur cinq grandes étapes :

- évaluer du niveau d'agilité avant l'implémentation du TADS;
- déterminer les aspects critiques à améliorer;
- implémenter le TADS;
- déterminer les mesures correctives; et
- réévaluer le niveau d'agilité après l'implémentation du TADS.

La méthode d'évaluation du niveau d'agilité est bien expliquée d'un point de vue théorique. Toutefois, les auteurs ne précisent pas comment mesurer un critère ni combien de personnes sont nécessaires à l'évaluation. Dans la détermination des aspects critiques à améliorer, les auteurs

considèrent seulement la différence entre le résultat de chaque aspect par rapport à un barème prédéfini par l'outil sans pour autant expliquer comment ce barème répond au besoin réel de l'agilité par rapport aux changements dans l'environnement industriel. Dans la détermination des mesures correctives, les auteurs présentent un ensemble d'outils d'amélioration (ex. Job Characteristics Model, Collaborative Forecasting Planning and Replenishment, Integrated Business Information Systems, etc.). Toutefois, ils n'expliquent pas quand et à quel niveau utiliser chacun de ces outils.

(Lin et al., 2006; Tseng & Lin, 2011) ont proposé deux méthodologies similaires de type incrémental d'amélioration de l'agilité en trois grandes étapes (définir le niveau requis d'agilité, mesurer l'agilité de la chaîne logistique et identifier les aspects à améliorer). Dans la première étape, les changements de l'environnement industriel sont examinés pour identifier les niveaux des capacités de l'agilité requis par une chaîne logistique ainsi que les attributs permettant de mesurer ces capacités. Dans la deuxième étape, le niveau d'agilité est mesuré par la capacité des attributs à répondre aux changements dans l'environnement industriel. La troisième étape permet de sélectionner les principaux attributs à améliorer et développer les mesures d'amélioration appropriées.

Les deux méthodologies développées prennent en considération le besoin de l'agilité face à la dynamique du marché et déterminent les attributs à améliorer pour répondre à cette dynamique. Toutefois, ils ne considèrent pas l'ensemble des facteurs-conducteurs de l'agilité, ce qui influence le niveau requis de l'agilité. Les attributs permettant d'évaluer le niveau d'agilité sont groupés en forme de stratégies et de systèmes. Toutefois, les technologies et les compétences humaines n'ont pas été abordées dans le déploiement de la méthodologie.

De plus, d'autres chercheurs ont proposé différentes démarches d'amélioration continue, mais aucun des travaux précédant sur l'agilité des chaînes logistiques n'a proposé une démarche pour l'amélioration de l'agilité, nous présentons 3 des démarches les plus connues dans la littérature, soit les démarches DMAIC, PDCA et RADAR.

La démarche DMAIC a été développée à la fin des années 1980 par l'entreprise Motorola (Narasimhan, 2002). Cette démarche est une partie intégrante de la méthode Six Sigma qui a pour but de résoudre de problèmes au niveau d'un processus ou du niveau de gestion de projet. Cette méthode se compose de cinq étapes :

- Définir : dans cette étape, les projets doivent être identifiés et priorisés.
- Mesurer : dans cette étape, les paramètres des processus doivent être identifiés et la performance des indicateurs clés du processus doit être mesurée.
- Analyser : dans cette étape, une analyse des causes des problèmes ainsi que leurs impacts sur la performance du processus doivent être effectués.
- Améliorer (Improve) : dans cette étape, le processus doit être amélioré en utilisant un paramétrage optimal du processus.
- Contrôler : dans cette étape, l'objectif est de maintenir la performance du système.

La démarche PDCA a été développée dans les années 30 par Walter A. Shewhart lorsque les entreprises ont commencé à faire face à la concurrence axée sur la gestion de la qualité (Johnson, 2016). Elle a été d'abord utilisée comme un outil de contrôle de la qualité des produits et a été reconnue, plus tard, comme une philosophie d'amélioration continue des processus en introduisant un changement progressif dans la culture de l'organisation, menant ainsi à l'évolution de l'entreprise (Maruta, 2012).

La démarche PDCA présentée à la figure 2.12 comporte 4 étapes (Silva, Medeiros, & Vieira, 2017):

- Planifier : dans cette phase, les opportunités d'améliorations doivent être déterminées ; l'état du système doit être évalué ; et les causes des problèmes ainsi que les actions d'amélioration doivent être identifiées.
- Développer : dans cette phase, le plan d'action doit être exécuté en utilisant les différentes données collectées.
- Contrôler : dans cette phase, une analyse du plan d'action doit être effectuée en comparant la situation initiale avec la nouvelle situation pour vérifier si l'objectif a été atteint.
- Agir : dans cette phase, l'équipe d'amélioration doit synthétiser les résultats en standardisant les meilleures pratiques dans le cas où l'objectif est atteint. Dans le cas contraire, une nouvelle boucle doit être réalisée jusqu'à l'atteinte de l'objectif.

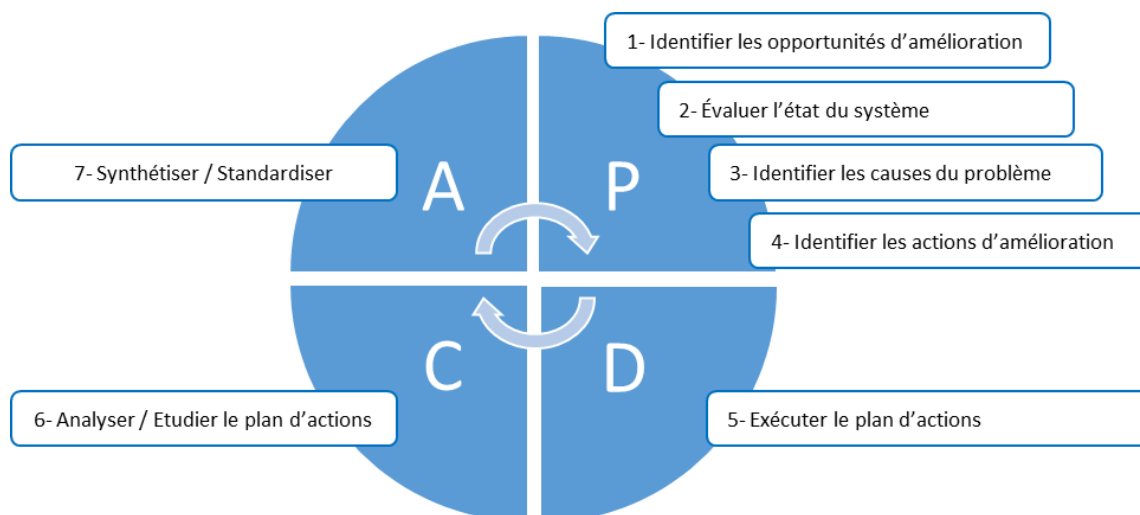


Figure 2.12 : Phases du cycle PDCA. [adapté de (Silva et al., 2017)]

La démarche RADAR est une approche structurée d'amélioration de la performance d'une organisation basée sur le modèle d'excellence de la fondation européenne de la gestion de la qualité « European Foundation for Quality Management » (EFQM). La démarche RADAR est composée de quatre phases (Sokovic, Pavletic, & Pipan, 2010) :

- Résultats : déterminer le résultat souhaité.
- Approche : développer les approches permettant l'obtention des résultats.
- Déploiement : exécuter les approches développées.
- Évaluation (Assess) et adaptation (Refine) : Évaluer les approches développées et les adapter en fonction des résultats obtenus.

La démarche RADAR est fondée sur 9 critères (Bou-Llugar, Escrig-Tena, Roca-Puig, & Beltrán-Martín, 2009), 5 sont des critères de leviers d'amélioration (le leadership, la stratégie, le personnel, les partenariats et les ressources, et les processus, produits et services) et 4 critères de résultats clés (les clients, le personnel, la société et les activités).

Malgré la différence dans les étapes des 3 démarches présentées, il existe une similitude entre les approches DMAIC, RADAR et PDCA. (Sokovic et al., 2010) a montré que les démarches vues précédemment peuvent être vérifiées dans un cycle PDCA. La figure 2.13 présente la similitude entre les approches DMAIC, PDCA et RADAR.

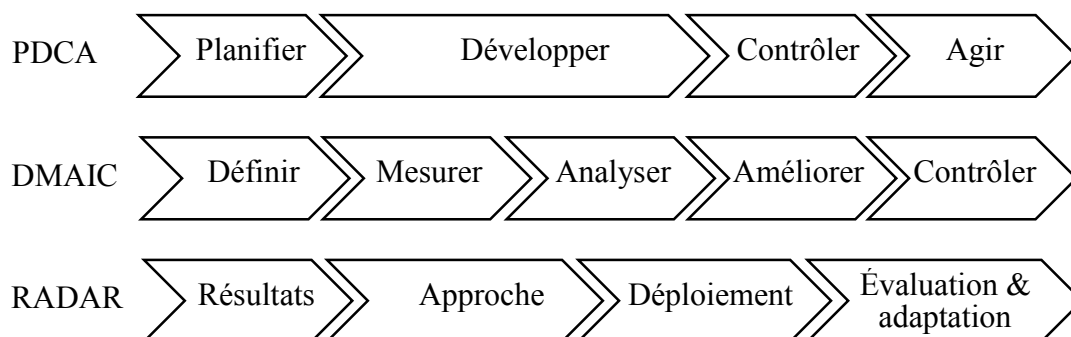


Figure 2.13 : Comparaison des cycles des démarches PDCA, DMAIC et RADAR [adapté de (Sokovic et al., 2010)]

Pour que les phases/étapes des 3 dernières démarches puissent être réalisées, il est nécessaire d'utiliser plusieurs méthodes et outils d'évaluation et d'analyse. Nous présentons à la partie suivante les propositions des autres chercheurs sur différentes méthodes d'évaluation de l'agilité des chaînes logistiques et nous présentons leurs contributions et leurs limites pour bien situer la pertinence de nos travaux.

2.4 Les méthodes d'évaluation de l'agilité

Cette section présente une revue générale des modèles d'évaluation de l'agilité de la chaîne logistique. Ces derniers se distinguent par l'approche d'évaluation utilisée, les dimensions et les objectifs de l'agilité traités.

Nous discutons des travaux de l'agilité selon leurs approches d'évaluation. En premier lieu, nous discutons des travaux utilisant un calcul exact du niveau d'agilité. Ensuite, les travaux utilisant une estimation du niveau d'agilité sont discutés selon leur méthode de pointage, leur nature des échelles d'évaluation, ainsi que leur relation entre les facteurs utilisés. Les méthodes de pointages analysés sont l'échelle de Likert et la logique floue. En ce qui concerne les méthodes utilisant la logique floue, nous discutons les travaux utilisant une structure hiérarchique et les travaux utilisant les relations de cause à effet entre les facteurs de l'agilité.

2.4.1 Les méthodes basées sur un calcul exact du niveau d'agilité

Mary (2002) a proposé une méthode d'évaluation de l'agilité en tant que fonction de la variance de la performance. Cette variance est mesurée par la différence entre la performance réelle du système et la performance requise pour répondre à la demande dans le marché. Un modèle hiérarchique

détaillant les niveaux de variance dans la chaîne logistique est utilisé pour mesurer la variance de la performance. Ce modèle est composé de la variance des délais, des coûts et de la quantité. Chaque variance est calculée par la différence entre l'inventaire réellement disponible et l'inventaire requis pour répondre à la demande réelle du marché.

Arteta et Giachetti (2004) ont proposé une méthode d'évaluation de l'agilité comme étant l'inverse de la complexité. Cette dernière est mesurée en utilisant les réseaux de Pétri pour rechercher l'espace des probabilités entre les ressources du processus et l'interconnexion entre ressources. Les auteurs ont pris comme hypothèse que plus les systèmes et les processus d'une entreprise sont complexes, plus c'est difficile de les modifier et par conséquent ils sont moins agiles.

2.4.2 Les méthodes basées sur une estimation du niveau d'agilité

Les travaux proposant des méthodes qualitatives d'évaluation de l'agilité se distinguent par la méthode de pointage utilisée, la nature des échelles d'évaluation ainsi que par la relation entre les facteurs utilisée. Nous présentons dans un premier temps les travaux utilisant l'échelle de Likert, ensuite nous traitons les travaux utilisant la logique floue dans leurs échelles d'évaluation.

2.4.2.1 Les travaux utilisant l'échelle de Likert

Yauch (2011) a proposé une méthode d'évaluation de l'agilité basée sur une conceptualisation de l'agilité en tant que combinaison de la performance de l'organisation et de la turbulence de son environnement industriel. L'évaluation de la performance se fait à travers des mesures opérationnelles et l'évaluation de la turbulence se fait à travers plusieurs paramètres liés à l'environnement externe. L'indice d'agilité est calculé en utilisant une corrélation empirique entre l'évaluation de la performance et de la turbulence. La performance est évaluée en fonction du pourcentage de la marge brute et de la rotation du stock par rapport à la médiane de l'industrie. La turbulence est évaluée en utilisant 13 facteurs (la personnalisation du produit, la variété des produits, le type de relation avec la société mère, la météo, l'économie, la pression concurrentielle, les réglementations du gouvernement, le pourcentage des clients et des fournisseurs internationaux, la complexité du produit, la criticité du fournisseur, la technologie, les syndicats et la bourse) résumant les principaux déclencheurs des changements de l'environnement industriel. Un barème sur une échelle de 100 pour mesurer chacun des facteurs a été proposé par le chercheur.

Vinodh et al. (2008) ont présenté un système d'aide à la décision appelé « DESSAC » pour évaluer le niveau d'agilité de l'entreprise et proposer les leviers d'amélioration à prendre en considération lors de l'amélioration. L'agilité est mesurée sur une échelle de 1000 points à travers 20 leviers d'améliorations proposés. Chaque levier d'amélioration a un maximum de points entre 15 et 130 points. Un questionnaire pour chaque levier d'amélioration détaille les aspects à vérifier et leurs pointages équivalents selon une échelle de Likert. Les degrés de l'échelle de Likert changent dépendamment de la question et l'indice d'agilité est la somme du nombre de points déterminés par les questionnaires. Plus l'indice est proche de 1000, plus la chaîne logistique est agile. De la même manière, Balaji et al. (2015) proposent un système d'amélioration de l'agilité appelé TADS (Total Agile Design Systems) en utilisant 11 leviers d'améliorations. Les leviers avec les plus grands écarts entre la note affectée et le nombre de points associés sont priorisés lors du processus d'amélioration.

Charles et al. (2010) ont proposé un système d'évaluation de l'agilité basé sur cinq objectifs (la flexibilité, la réactivité, la rapidité, l'effectivité et la visibilité) en utilisant un questionnaire avec une échelle de Likert à 4 degrés. Une matrice de maturité de l'agilité de la chaîne logistique permet de guider les responsables dans le choix de l'objectif à développer pour améliorer l'agilité.

VanHoek et al. (2001) ont utilisé la sensibilité aux clients, l'intégration virtuelle, l'intégration des processus, et l'intégration des réseaux et de l'information comme dimensions pour évaluer l'agilité de la chaîne logistique, chaque dimension est mesurée en se basant sur une série de questions en utilisant l'échelle de Likert sur 5 points.

Erande et Verma (2008); Verma, A., Jain et Majumdar (2013) proposent un outil CAMT (Comprehensive Agility Measurement Tool) de mesure de l'agilité en utilisant 10 facteurs. L'indice d'agilité est l'agrégation de l'importance de ces facteurs ainsi que de leurs niveaux au sein de l'entreprise. L'importance est calculée en utilisant la méthode de décision multicritères AHP et les niveaux sont obtenus en utilisant un questionnaire basé sur une échelle de Likert à 5 niveaux.

2.4.2.2 Les travaux utilisant la logique floue

La logique floue se base sur la théorie des ensembles flous introduite par Zadeh (1965) pour gérer les imprécisions et les incertitudes des jugements. La théorie consiste à associer des variables linguistiques à des variables numériques dans des processus de prise de décision. Bellman, R. E. et

Zadeh (1970) ont utilisé la théorie des ensembles flous pour développer une méthodologie floue de prise de décision multicritères.

La logique floue est très utilisée pour les problèmes de prise de décision difficilement modélisables et lorsque les spécifications sont définies en termes linguistiques (ex : lorsque la tomate est rouge alors elle est mûre). L'avantage de cette méthode est qu'elle considère le degré d'incertitude dans les contraintes définies par les experts et l'imprécision dans leurs mesures. Toutefois, l'expertise humaine est un aspect très important pour assurer la fiabilité des résultats.

De nombreuses applications de la logique floue existent dans plusieurs domaines, on la trouve dans :

- la commande et régulation automatique : machine à laver, gestion des feux de circulation;
- le traitement du signal : contrôle aérien, aide au diagnostic en médecine;
- le traitement d'image : guidage des systèmes;
- la robotique : freins des voitures; etc.

La logique floue est une extension de la logique classique. En théorie des ensembles classique, un objet soit il appartient, soit il n'appartient pas à un ensemble, 2 degrés de vérité alors existent (vrai et faux). En théorie des ensembles flous, un objet peut appartenir à un ensemble et en même temps à son complément avec différents degrés de vérité.

Un ensemble flou est déterminé par une fonction d'appartenance qui attribue à chaque élément dans l'ensemble de référence une note dans l'intervalle $[0,1]$, cette note indique à quel point cet élément représente l'ensemble flou.

Soit $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ l'ensemble des références, un ensemble flou M est l'ensemble de paires dans l'ordre :

$$\{(x_1, \mu_M(x_1)), (x_2, \mu_M(x_2)), \dots, (x_n, \mu_M(x_n))\}$$

Avec $\mu_M: X \rightarrow [0,1]$ la fonction d'appartenance de l'ensemble flou M .

Un ensemble flou M est alors défini par l'éq. (1).

$$M = \{(x, \mu_M(x)), \forall x \in X, \mu_M(x) \in [0,1]\} \quad (1)$$

Plusieurs types de fonctions d'appartenance existent (triangulaires, trapézoïdales, gaussiennes, sigmoïdes), mais les fonctions d'appartenance triangulaires sont les plus souvent utilisées dans les travaux d'évaluation de l'agilité puisqu'il est plus facile de construire les fonctions d'appartenance (Baramichai et al., 2007; Bottani, 2009; Tseng & Lin, 2011).

Une fonction d'appartenance triangulaire A sur un ensemble de références \mathcal{R} est caractérisé par le triplet $A(a_1, a_2, a_3)$ tel qu'illustré dans la figure 2.14. a_1 et a_3 correspondent à la borne inférieure de la fonction d'appartenance et a_2 correspond à la borne supérieure avec $(a_1 \leq a_2 \leq a_3)$. Ce type de fonction est donné par l'éq. (2).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (2)$$

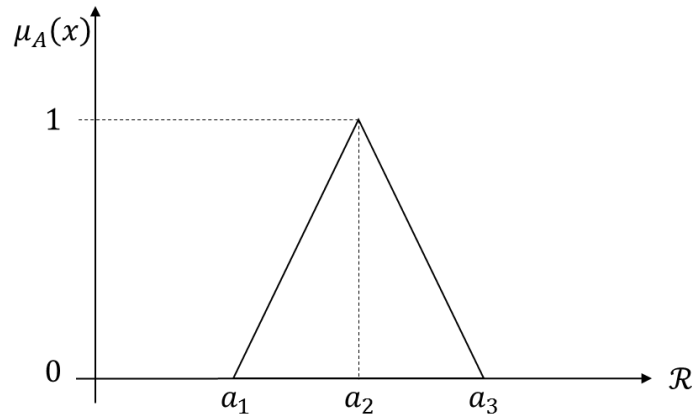


Figure 2.14 : Fonction d'appartenance triangulaire

Étant donné deux fonctions d'appartenance $A(a_1, a_2, a_3)$ et $B(b_1, b_2, b_3)$ et soit $c \in \mathbb{R}^+$

Les relations arithmétiques entre A , B et c sont données par les éqs. (3-8) et seront utilisées pour le développement de la méthodologie.

$$A \oplus B = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (3)$$

$$A \ominus B = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \quad (4)$$

$$A \otimes B \cong (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3) \quad (5)$$

$$\frac{A}{B} \cong (a_1 \div b_3, a_2 \div b_2, a_3 \div b_1) \quad (6)$$

$$c \cdot B \cong (c \times b_1, c \times b_2, c \times b_3) \quad (7)$$

$$B^{-1} = (b_1, b_2, b_3)^{-1} \cong \left(\frac{1}{b_3}, \frac{1}{b_2}, \frac{1}{b_1}\right) \quad (8)$$

Deux types de travaux utilisent la logique floue, ceux qui considèrent une structure hiérarchique entre les facteurs et ceux qui considèrent des relations de cause à effet entre les facteurs. Une synthèse des travaux est présentée dans le tableau 2.10.

2.4.2.2.1 Les travaux utilisant une structure hiérarchique

Lin et al. (2006) ont proposé un modèle d'évaluation de l'agilité en utilisant la logique floue et la méthode de décision multicritères AHP (Analytic Hierarchy Process). La structure hiérarchique proposée permet de relier les capacités organisationnelles aux sous attributs d'évaluation. Un indice d'agilité flou « Fuzzy Agility Index » (FAI) qui indique le niveau d'agilité est calculé comme étant la moyenne pondérée de la moyenne des évaluations de la performance par les évaluateurs ainsi que la moyenne de leurs importances relatives et est donné par l'éq. (9).

$$FAI = \frac{\sum_{j=1}^n W_j \otimes R_j}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (9)$$

Avec W_j : nombre flou représentant la moyenne des évaluations de la performance de l'attribut j.

R_j : nombre flou représentant la moyenne de l'importance relative de l'attribut j.

n : le nombre total des sous attributs d'évaluation de l'agilité.

L'évaluation de la performance et le l'importance est réalisée par des variables linguistiques triangulaires. Une association entre l'indice d'agilité flou et les niveaux d'agilité est effectuée en utilisant la méthode de la distance euclidienne.

Samantra et al. (2013) ont utilisé la même approche d'évaluation de l'agilité avec la même structure hiérarchique proposée par Lin et al. (2006), mais pour des variables linguistiques trapézoïdales au lieu des triangulaires.

Vinodh, Devadasan, Vimal et Kumar (2013); Vinodh et Prasanna (2011) ont proposé une structure hiérarchique reliant les leviers d'amélioration aux attributs d'évaluation pour évaluer l'agilité en faisant une agrégation simple des performances des attributs avec leurs pondérations pour chacun

des évaluateurs, une fois que l'indice d'agilité est calculé pour chacun des répondants, une moyenne des indices est calculée pour trouver l'indice de l'agilité.

Jain et al. (2008a); Vinodh et al. (2011) ont proposé une méthode d'évaluation de l'agilité des chaînes logistiques en utilisant des règles d'association floues (fuzzy association rules mining) entre 8 attributs (la flexibilité, la qualité, le coût, le profit, l'innovation, la proactivité, la rapidité et la robustesse), leur méthode permet de trouver les antériorités entre les facteurs, mais ne permet pas de donner une idée sur le niveau d'agilité de la chaîne logistique ou des facteurs à considérer en priorité.

2.4.2.2.2 Les travaux utilisant les relations cause à effet (QFD)

La méthode de déploiement de la fonction qualité « Quality Function Deployment » (QFD) est une approche d'aide à la décision utilisée dans le processus de développement de produits pour mieux répondre aux besoins des clients.

La méthode utilise plusieurs matrices appelées « Maison de la qualité » pour traduire les besoins des clients en spécifications techniques de produit et déterminer l'importance relative entre ces spécifications techniques.

Dans sa forme standard, la « Maison de la qualité » se compose de six éléments principaux :

- les besoins des clients;
- l'importance des besoins des clients;
- les spécifications techniques du produit;
- la corrélation entre les spécifications techniques du produit;
- la relation entre les besoins des clients et les spécifications techniques du produit; et
- le résultat de la matrice qui traduit l'importance des spécifications techniques du produit.

L'importance des spécifications techniques est calculée par la somme pondérée de l'importance des besoins des clients et la relation entre les besoins des clients et les spécifications techniques du produit.

Bien que l'approche QFD ait été développée pour résoudre des problèmes de développement de produits, plusieurs travaux l'ont adopté à d'autres domaines pour résoudre des problèmes d'aide à la décision. Dans les travaux de Baramichai et al. (2007); Bottani (2009); Tseng et Lin (2011), cette

approche a été adoptée dans le contexte de l'agilité pour traduire les facteurs de compétitivité ou les changements de l'environnement industriel en leviers d'améliorations de l'agilité.

Tseng et Lin (2011) ont proposé une méthode d'évaluation de l'agilité en faisant le lien entre les changements de l'environnement et les besoins de l'agilité ainsi que le lien entre les besoins et les leviers d'améliorations à travers la moyenne pondérée floue proposée par la méthode QFD. Un indice d'agilité flou est calculé par la moyenne pondérée de la performance des capacités ainsi que leur importance relative.

Bottani (2009) présente une méthode d'évaluation de l'agilité en utilisant la méthode QFD mettant en relation les facteurs de compétitivité avec les attributs d'agilité et les attributs d'agilité avec les leviers d'amélioration. Sa particularité est le fait d'inclure les liens entre les attributs pour le calcul de l'importance des attributs.

Baramichai et al. (2007) ont proposé une matrice de transformation de la chaîne logistique agile (ASCTM) en combinant 3 matrices issues de la méthode « Maison de qualité » (l'approche QFD) appuyée par la méthode de décision multicritères AHP, dans le but d'identifier les capacités requises pour créer ou améliorer une chaîne logistique agile à partir des défis de l'environnement industriel. Une première matrice détermine l'importance des changements de l'environnement industriel par rapport aux défis dans lesquels prospère l'entreprise. Une deuxième matrice détermine les moyens pour faire face aux changements définis ainsi que leur ordre de priorité, et finalement une troisième matrice lie les pratiques à adopter avec les moyens choisis dans la deuxième matrice.

2.4.3 Synthèse des résultats

Le tableau 2.10 présente une synthèse des méthodes d'évaluation de l'agilité selon les critères suivants :

- la nature d'évaluation : la méthode est basée sur un calcul exact ou sur une estimation du niveau d'agilité;
- la relation entre les facteurs d'évaluation de l'agilité : mathématique, hiérarchique ou de cause à effet;

- la nature d'évaluation (seulement pour les méthodes basées sur une estimation du niveau d'agilité): termes linguistiques (logique floue) ou Échelle de Likert;
- le développement d'un indice d'agilité;
- l'association de cet indice à un niveau d'agilité (indice relatif ou absolu); et
- la considération de plusieurs évaluateurs dans l'estimation du niveau d'agilité (seulement pour les méthodes basées sur une estimation du niveau d'agilité).

Le signe (√) dans le tableau 2.10 indique que ce critère a été traité par la méthodologie, le signe (X) indique que ce critère n'a pas été traité et la case vide indique que ce critère n'est pas applicable pour cette méthodologie.

Tableau 2.10 : Synthèse des méthodes d'évaluation de l'agilité

Références	Nature d'évaluation	Structure des facteurs d'évaluation	Nature d'évaluation	Indice d'agilité	Association à un niveau d'agilité	Considération de plusieurs évaluateurs
(Mary, 2002)	Exact	Agilité = f (variance de la performance)		√	X	
(Arteta & Giachetti, 2004)	Exact	Agilité = f (complexité)		√	X	
(Yauch, 2011)	Estimation	Agilité = f (performance et turbulence)	Échelle de Likert	√	X	X
Lin et al. (2006)	Estimation	Structure hiérarchique des attributs d'agilité	Logique floue	√	√	√
Baramichai et al. (2007)	Estimation	Défis de l'entreprise → changements → moyens de faire face aux changements → les meilleurs pratiques	Échelle de Likert	X	X	X
Jain et al. (2008a)	Estimation	Attributs d'agilité	Logique floue	X	X	X

Tableau 2.10 (suite) : Synthèse des méthodes d'évaluation de l'agilité

Références	Nature d'évaluation	Structure des facteurs d'évaluation	Nature d'évaluation	Indice d'agilité	Association à un niveau d'agilité	Considération de plusieurs évaluateurs
Bottani (2009)	Estimation	Facteurs de compétitivité → attributs d'agilité → leviers d'amélioration	Logique floue	X	X	X
Tseng et Lin (2011)	Estimation	Changements → Capacités → leviers d'amélioration	Logique floue	√	√	X
Vinodh et al. (2011)	Estimation	Attributs d'agilité	Logique floue	X	X	X
Vinodh et Prasanna (2011)	Estimation	Structure hiérarchique des attributs d'agilité	Échelle de Likert	√	X	√
Samantra et al. (2013)	Estimation	Structure hiérarchique des attributs d'agilité	Logique floue	√	√	X
Vinodh et al. (2013)	Estimation	Structure hiérarchique des leviers d'amélioration d'agilité	Logique floue	√	√	√

En ce qui concerne les méthodes d'évaluation basées sur des calculs exacts, elles permettent de modéliser l'agilité de manière quantitative. Toutefois, aucune d'entre elles ne permet de couvrir toutes les dimensions de la chaîne logistique ni tous les facteurs-conducteurs de l'agilité. Aussi, les indices développés ne permettent pas de donner une idée sur le degré d'agilité de l'entreprise (indices absolus).

En ce qui concerne les méthodes d'évaluation basées sur des estimations, ceux utilisant des structures hiérarchiques considèrent l'évaluation de l'agilité juste au niveau des leviers d'amélioration sans se soucier de l'environnement industriel et du besoin réel des leviers d'amélioration par rapport aux changements de l'environnement industriel.

En ce qui concerne les méthodes utilisant les approches QFD, l'indice d'agilité proposé par Tseng et Lin (2011) ne calcule l'agilité qu'en termes de capacités d'agilité et non pas en termes de niveau d'utilisation des leviers d'améliorations. D'un autre côté, leur méthode ne permet d'avoir qu'une seule réponse par équipe, et ne considère pas l'effet d'avoir plusieurs réponses des évaluateurs. La méthode proposée par Bottani (2009) ne permet pas d'obtenir un indice d'agilité, d'un autre côté les sorties sont très vagues et ne peuvent pas être incluses dans un domaine flou. Les auteurs n'ont pas utilisé les changements dans l'environnement industriel pour évaluer le besoin réel de l'agilité dans la chaîne logistique et n'incluent pas le fait d'avoir plusieurs réponses des évaluateurs. La méthode proposée par Baramichai et al. (2007) ne permet pas de traiter le caractère flou des réponses et aucun indice de mesure d'agilité n'est proposé.

La partie suivante analyse les stratégies d'approvisionnement multifournisseur et les types de contrats associés.

2.5 Les stratégies d'approvisionnement

Les travaux analysant les stratégies d'approvisionnement multifournisseur sont largement étudiés dans la littérature et couvrent plusieurs domaines (la conception du réseau d'approvisionnement, la sélection des fournisseurs, la gestion des contrats, le fractionnement des ordres d'approvisionnement, le développement des politiques d'approvisionnement, etc.). Minner (2003); Yao et Minner (2017) présentent des revues de littérature sur ce sujet.

Dans le but de situer notre travail dans la littérature existante, nous analysons deux axes de recherche en présentant les travaux importants pour le développement de notre modèle :

- la gestion des contrats d'approvisionnement,
- les problèmes de sélection des fournisseurs.

La gestion des contrats a pour but de coordonner les relations commerciales entre un ensemble de fournisseurs et de clients. Govindan, Popiuc et Diabat (2013) proposent une classification des contrats selon la répartition des risques dans la chaîne d'approvisionnement. Les différents types des contrats sont :

- Le contrat « Classique » reliant le fournisseur à l'entreprise spécifie une quantité fixe à approvisionner au début de chaque période de réapprovisionnement sur un horizon donné,

sans que cette dernière dispose des informations sur la demande réelle. L'entreprise prend alors l'intégralité des risques d'approvisionnement (stock ou rupture du stock). Dans ce type de contrat, le coût d'acquisition est composé seulement du coût d'exécution des ordres d'approvisionnement et aucun réajustement de la quantité à réapprovisionner n'est toléré d'une période à l'autre.

- Le contrat à options consiste à payer un coût de réservation par unité de produit pour réserver une quantité auprès du fournisseur et dès qu'un ordre d'approvisionnement est lancé, un coût d'exécution s'ajoute au coût de réservation. Si l'entreprise n'effectue aucun approvisionnement auprès du fournisseur, le coût de réservation est perdu. Le coût d'acquisition est composé alors du coût de réservation de la quantité réservée et du coût d'exécution de la quantité approvisionnée. La quantité approvisionnée ne peut excéder la quantité réservée. Dans ce type de contrat, le fournisseur prend l'intégralité des risques d'approvisionnement à l'intérieur des limites de réservation.

Actuellement, l'optimisation des décisions des problèmes d'approvisionnement multi fournisseurs consiste à déterminer une solution stationnaire sur un horizon donné, mais selon Shaarabh et al. (2014), l'agilité est la capacité à réagir et à répondre à un environnement qui force fréquemment l'entreprise à changer tout en satisfaisant continuellement les clients et en atteignant les objectifs commerciaux. L'intégration de l'agilité dans ce problème d'optimisation consiste à réajuster, en fonction de la demande réelle, les quantités des produits à commander au début de chaque période de réapprovisionnement. Ainsi les contrats à options sont les mieux adaptés à notre problématique.

En ce qui concerne les problèmes de sélection des fournisseurs, l'objectif est de déterminer combien de fournisseurs doivent être sélectionnés et quelle quantité doit être allouée à chacun des fournisseurs.

Martínez-de-Albéniz et Simchi-Levi (2005) analysent l'impact d'utilisation du contrat à options par rapport au contrat classique sur les bénéfices économiques de l'entreprise et proposent une politique optimale de réapprovisionnement qui minimise le coût d'acquisition et de stockage sur un horizon composé de plusieurs périodes où la demande est aléatoire. Les auteurs considèrent que les demandes non satisfaites sont perdues et que l'approvisionnement est immédiat.

Glock (2011) a développé une stratégie d'approvisionnement multi fournisseurs en deux étapes, la première consiste à déterminer le nombre de fournisseurs sélectionnés et la deuxième étape consiste

à déterminer la taille de lot à fournir. L'objectif est de minimiser le coût total d'exploitation pour une demande constante et connue. Les auteurs ont développé deux algorithmes de résolution des deux étapes du problème.

Rezaei et Davoodi (2011) ont proposé un modèle d'approvisionnement multi fournisseurs, leur modèle non linéaire à objectifs multiples (coûts, qualité et niveau de service) a pour but de déterminer les quantités optimales des produits à s'approvisionner. La fonction coût est composée des coûts d'acquisition, de commande, de stockage ou de rupture et de transport. Les quantités sont optimisées pour un horizon multipériodes pour répondre à une demande déterministe. Les auteurs ont développé une approche basée sur des algorithmes génétiques pour résoudre leurs modèles.

Chibani et al. (2018) ont proposé une stratégie d'approvisionnement multi fournisseurs dans le cas des systèmes d'achat par internet « e-procurement », où les ventes se font de manière rapide et immédiate et où plusieurs fournisseurs proposent leur produit à une capacité donnée et à des coûts d'acquisition et d'affectation différents et qui changent de manière dynamique dans le temps. Les auteurs ont développé un algorithme génétique dynamique qui minimise le coût moyen total composé du coût d'acquisition et du coût d'affectation pour une demande stable.

À notre connaissance, aucun des travaux antérieurs n'a abordé le problème d'approvisionnement multi fournisseurs lorsque la demande est aléatoire et le choix des fournisseurs est basé sur le coût d'acquisition et sur le délai d'approvisionnement. L'introduction de critères de délai donne à la chaîne d'approvisionnement une possibilité de réactivité supplémentaire lorsqu'on a une rupture de stock et peut conduire à des résultats pouvant améliorer la compétitivité de l'entreprise.

2.6 Discussion et conclusion

Le besoin de satisfaction du client dans un environnement industriel caractérisé par une volatilité de la demande et des variations dans l'approvisionnement est la base de la genèse de l'agilité dans les chaînes logistiques.

Compte tenu de l'intensification des efforts des entreprises pour accroître globalement leur agilité, une attention limitée à cet égard pourrait être insuffisante pour faire face à des environnements plus complexes et turbulents, ainsi l'agilité doit être considérée tout au long de la chaîne logistique pour que celle-ci puisse facilement se repositionner dans le marché et changer sa stratégie lorsque les clients ne sont plus satisfaits de ce qu'elle leur offre.

Par rapport au sujet de notre étude, la revue de littérature systématique sur l'agilité des chaînes logistiques nous a permis de définir les éléments clés (facteurs-conducteurs, objectifs et leviers d'amélioration) du concept de l'agilité dans la chaîne logistique. Les facteurs-conducteurs nous serviront de base d'évaluation du niveau de changement de l'environnement industriel. Les objectifs vont nous permettre de déterminer les capacités à déployer pour faire face à ces changements et les leviers d'amélioration vont nous donner une description des principes d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique. Toutefois, leur utilisation nécessite une adaptation et une validation auprès des acteurs industriels dépendamment de l'environnement industriel et de la stratégie de gestion de la chaîne logistique. Pour cela, il est important de comprendre le mécanisme des différents modèles d'amélioration et d'évaluation de l'agilité dans la chaîne logistique.

D'un côté, l'analyse des méthodes d'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques, l'explication du mécanisme d'amélioration, par l'utilisation de chacun des leviers d'amélioration, ainsi que leur impact sur la performance de la chaîne logistique, demeure flou. De plus, l'ordre de préférence au niveau choix des leviers d'améliorations par rapport à leur impact d'amélioration est important pour une utilisation efficace des ressources.

D'un autre côté, les méthodes d'évaluation de l'agilité des chaînes logistiques présentent diverses approches d'évaluation de l'agilité de la chaîne logistique. Ces approches ne sont cependant pas toujours complètes du fait que certaines ne couvrent pas tous les aspects de la chaîne logistique (facteurs-conducteurs, objectifs et leviers d'amélioration), certaines ne traitent pas le besoin de l'agilité avant de l'évaluer, d'autres ne traitent pas l'incertitude et l'imprécision des évaluateurs, et ne permettent pas d'associer un niveau d'agilité à leur indice absolu et finalement certaines ne prennent pas en charge la capacité d'avoir plusieurs évaluateurs.

Dans ce contexte, une méthodologie permettant de planifier, développer et gérer une transformation de la chaîne logistique pour répondre aux différents changements perçus dans l'environnement industriel est développée en utilisant la démarche d'amélioration des processus PDCA puisque toutes les démarches présentées peuvent se vérifier à travers un cycle PDCA. La méthode développée considère aussi les critères proposés par les 3 revues de littérature sur les critères à considérer dans une méthodologie d'amélioration des processus. Ces critères sont :

- l'objectif ;

- les procédures des activités principales ;
- les techniques : outils et approches ;
- les rôles des acteurs ;
- les éléments d'entrées ;
- les éléments de sortie : résultats ;
- l'évaluation des résultats ; et
- le modèle d'information.

Pour l'évaluation de l'agilité, nous proposons une adaptation de l'approche QFD en contexte agile, et ce en reliant les facteurs-conducteurs avec les objectifs de l'agilité et les objectifs de l'agilité avec les leviers d'amélioration. Cependant, pour pouvoir gérer l'imprécision et l'incertitude des évaluateurs, nous utilisons les variables linguistiques pour l'évaluation et nous les traduirons en variables numériques en utilisant la logique floue. Nous optons pour l'algorithme de programmation fractionnée développée par Kao et Liu (2001) pour trouver le résultat de chaque passage (facteurs-conducteurs vers objectifs et objectifs vers leviers d'amélioration). La combinaison de l'importance relative et des performances des leviers d'amélioration de l'agilité pour les différents évaluateurs nous permettra d'avoir une idée sur le niveau d'agilité au sein de l'entreprise. Cette partie est présentée en détail dans le chapitre 3 suivie d'une étude de cas auprès de notre partenaire industriel au chapitre 4.

L'étude de cas auprès de notre partenaire industriel a mené au développement d'une nouvelle stratégie optimale d'approvisionnement. Après avoir présenté les différentes stratégies d'approvisionnement avec les différents types de contrats, plusieurs questions importantes se posent :

- Quel est l'avantage d'inclure les critères de délais d'approvisionnement pour la détermination de la stratégie optimale ?
- Quel est l'avantage de trouver une stratégie optimale sur un horizon composé de plusieurs périodes en utilisant des contrats à options au lieu des contrats « classiques » ?
- Quel est l'avantage d'utiliser une stratégie multi fournisseurs par rapport à une stratégie à fournisseur unique ?

- Si nous choisissons une stratégie multi fournisseurs, quelles sont les quantités à réserver auprès de chacun des fournisseurs et quelle est la stratégie optimale de réapprovisionnement ?

Pour combler ces lacunes, l'un de nos objectifs principaux est de développer une stratégie optimale d'approvisionnement agile multipériodes permettant dans un premier temps de sélectionner les fournisseurs et de déterminer la quantité optimale à commander auprès de chacun des fournisseurs sélectionnés avec la possibilité de réajuster cette quantité au début de chaque période. Nous considérons que la demande est aléatoire et que les fournisseurs proposent des coûts d'acquisition et des délais d'approvisionnement différents. Cette partie est présentée au chapitre 5.

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE D'AMÉLIORATION DE L'AGILITÉ DES CHÂÎNES LOGISTIQUES

3.1 Introduction

Devant la dynamique actuelle du marché et les différents risques associés auxquels font face les entreprises, la gestion agile de la chaîne logistique permet d'améliorer la performance de la chaîne logistique (Fayezi et al., 2017).

Dans ce contexte, nous proposons dans ce chapitre une méthodologie structurée d'amélioration de l'agilité des chaînes logistiques en utilisant la démarche d'amélioration des processus PDCA. L'originalité de cette méthode se situe d'un côté dans le fait que nous considérons les critères clés nécessaires dans le développement d'une méthodologie pour l'amélioration de l'agilité dans la chaîne logistique et d'un autre côté, nous proposons une méthode d'évaluation de l'agilité basée sur l'approche d'aide à la décision QFD pour traduire les facteurs-conducteurs de l'agilité en leviers d'amélioration de l'agilité. Ces derniers sont évalués en utilisant des termes linguistiques pour faire face au comportement incertain et imprécis de plusieurs évaluateurs et une méthode d'agrégation est proposée pour calculer l'indice de l'agilité en utilisant la logique floue.

Ce chapitre est organisé comme suit, la section 3.2 présente en premier lieu la méthodologie d'amélioration de l'agilité développée dans sa globalité. La section 3.3 présente une description des différentes étapes en amont de la méthodologie. Les sections 3.4 à 3.7 présentent respectivement une description détaillée de chacune des 4 étapes de la méthodologie (planifier, développer, contrôler et agir). Finalement, une discussion et une conclusion sont présentées à la section 3.8.

3.2 Méthodologie proposée d'amélioration de l'agilité

Nous développons dans ce chapitre une méthodologie structurée d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique. La méthodologie d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique proposée a pour but de déterminer l'ordre de choix des leviers d'améliorations de l'agilité en se basant sur les facteurs-conducteurs de l'agilité dans la chaîne logistique pour atteindre un niveau d'agilité souhaité. La méthodologie d'amélioration proposée suit la démarche d'amélioration PDCA

(Johnson, 2016) et en considérant les critères clés dans une méthode d'amélioration des processus proposés par Dresch et al. (2014); Vanwersch et al. (2016); Zellner (2011). Ces critères sont :

- l'objectif global de la méthodologie;
- les procédures des activités principales à suivre pour la réalisation de la méthodologie ;
- les techniques (outils et approches) pour générer des résultats ou soutenir des activités ;
- les rôles et responsabilités de l'acteur qui réalise l'activité;
- les éléments d'entrées dans chaque procédure ;
- les éléments de sortie de chaque procédure et les résultats de la méthodologie ;
- l'évaluation des résultats ; et
- le modèle d'information pour décrire, d'une part, les éléments ci-dessus et leurs relations et d'autres part, pour représenter les résultats.

Puisque ce travail a pour but d'améliorer le processus de gestion de la chaîne logistique, une méthodologie de recherche de type collaboratif et transformateur doit être utilisée (Andrée-Anne, Samir, Robert, & Simon, 2015). Rousseau (2006) a ajouté que la recherche intervention est la méthode de recherche la plus appropriée pour développer les connaissances visant à théoriser les pratiques professionnelles et améliorer la performance des décisions de gestion. Pour cela, la recherche intervention a été adoptée pour la continuité des travaux.

Une fois que la méthode est appliquée à une première équipe qui gère la chaîne logistique d'un produit, nous l'appliquerons à un département, puis à toute l'organisation afin de faire profiter l'ensemble de l'entreprise des meilleures pratiques de la gestion agile de la chaîne logistique.

La méthode d'amélioration de l'agilité présentée dans la figure 3.1 se compose de quatre phases :

1. La phase de planification : dans cette phase, les opportunités d'amélioration de l'agilité face aux changements de l'environnement industriel sont identifiées. Le niveau d'agilité de la chaîne logistique est évalué. Le niveau d'agilité souhaité ainsi que l'impact des leviers d'améliorations sur l'agilité sont déterminés.
2. La phase de détermination des leviers d'amélioration à prioriser et le développement des solutions d'amélioration de chacun des leviers d'amélioration sélectionnés.

3. La phase de contrôle de l'impact des solutions développées pour l'amélioration de l'agilité sur la performance de la chaîne logistique face à un évènement inattendu.
4. La phase de synthèse des solutions développées.

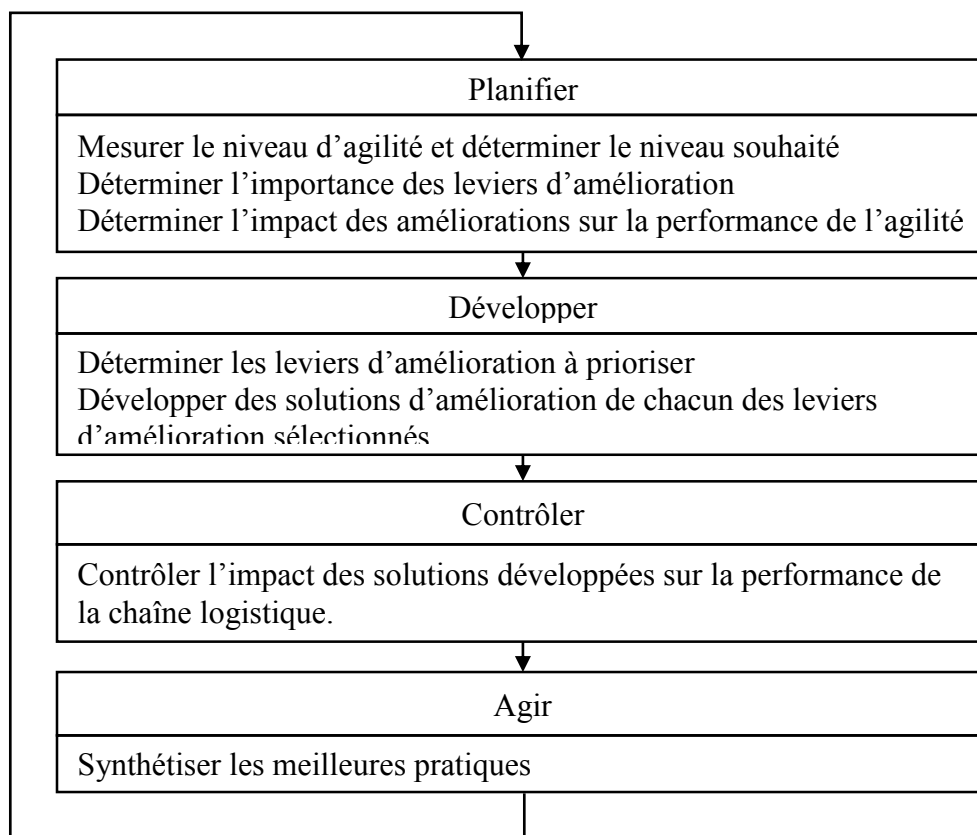


Figure 3.1 : Principales étapes de la méthodologie d'amélioration

Pour que les étapes présentées à la figure 3.1 soient bien exécutées, plusieurs méthodes sont utilisées pour atteindre le résultat souhaité dans chaque étape. Suivant le cadre présenté à la figure 3.2, une description de l'algorithme est détaillée ci-dessous :

0. Les étapes en amont

0.1. Créer l'équipe de transformation

0.2. Analyser la base de connaissances

0.3. Déterminer les échelles floues d'évaluation l'agilité;

1. L'étape « Planifier »

1.1. Sélectionner les facteurs-conducteurs

- 1.2. Évaluer l'agilité de la chaîne logistique
- 1.3. Déterminer le niveau d'agilité souhaité
- 1.4. Déterminer les contributions des leviers d'améliorations
- 1.5. Déterminer l'interdépendance entre les leviers d'amélioration
- 1.6. Déterminer la capacité d'influence et la dépendance des leviers d'amélioration
2. L'étape « Développer »
 - 2.1. Déterminer les leviers d'amélioration à prioriser
 - 2.2. Développer des solutions d'amélioration de chacun des leviers d'amélioration sélectionnés
3. L'étape « Contrôler »
 - 3.1. Contrôler l'impact des solutions développées sur la performance de la chaîne logistique
4. L'étape « Agir »
 - 4.1. Synthétiser les meilleures pratiques

Nous présentons une description détaillée des étapes présentées ci-dessus en utilisant. Les notations suivantes sont utilisées dans la suite de la méthodologie :

- k : le nombre des évaluateurs
- l : le nombre des facteurs-conducteurs
- m : le nombre des objectifs de l'agilité
- n : le nombre des leviers d'améliorations
- $[E_1, \dots, E_i, \dots, E_k]$: l'ensemble des évaluateurs
- $[C_1, \dots, C_j, \dots, C_l]$: l'ensemble des facteurs-conducteurs
- $[O_1, \dots, O_r, \dots, O_m]$: l'ensemble des objectifs
- $[L_1, \dots, L_s, \dots, L_n]$: l'ensemble des leviers d'amélioration

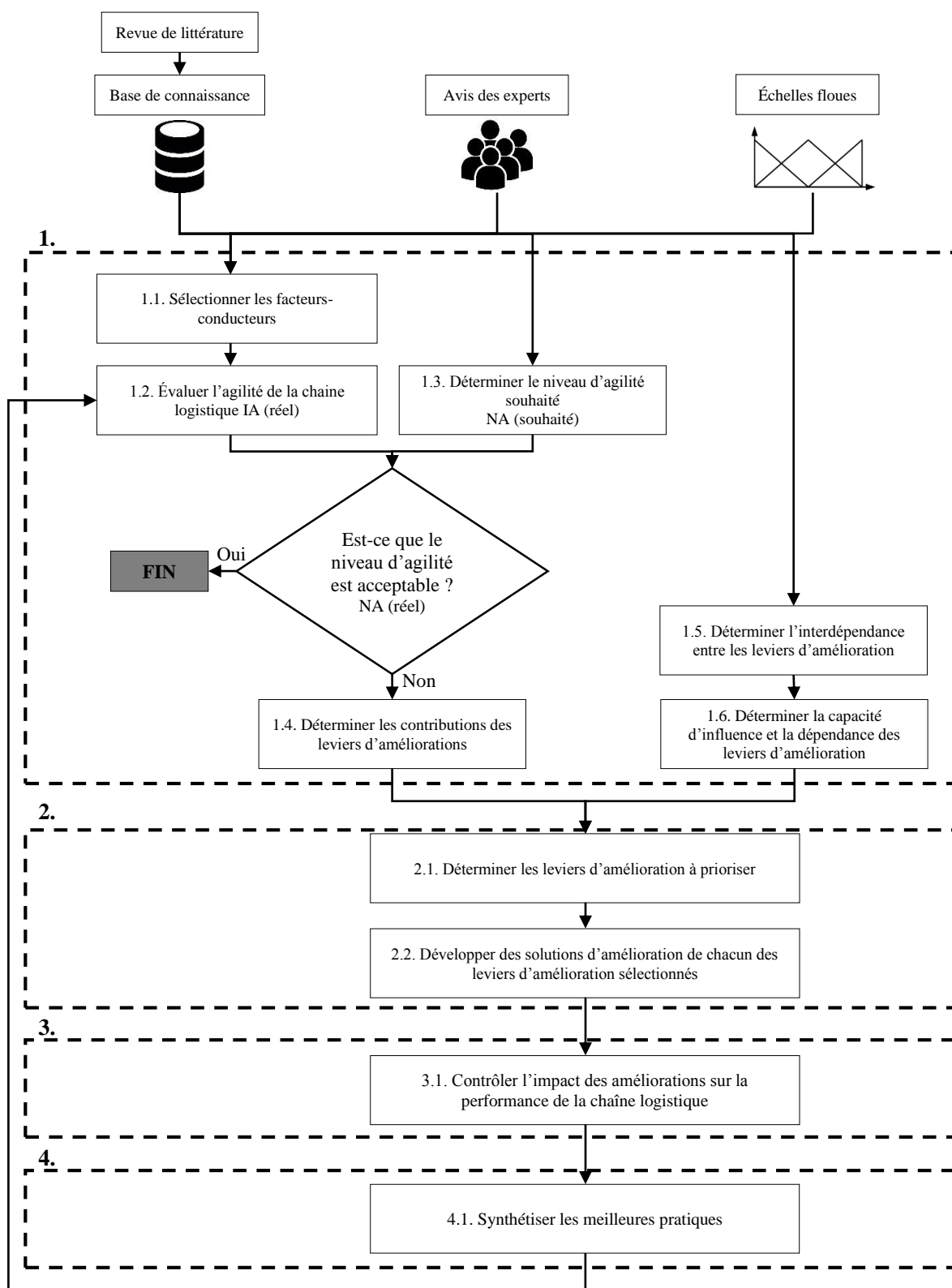


Figure 3.2 : Méthodologie d'amélioration de l'agilité

3.3 Les étapes en amont

3.3.1 Créer l'équipe de transformation

La première étape dans toute démarche d'amélioration des processus est la détermination de l'équipe de transformation. Cette équipe est constituée d'un responsable du projet d'amélioration et de l'équipe des évaluateurs.

Tout d'abord, un responsable du projet d'amélioration doit être désigné. Cet acteur doit avoir une vision globale du projet puisque son rôle est d'assurer d'une part, le bon déroulement du processus de transformation, et d'autre part, la bonne compréhension des différents aspects clés du paradigme de l'agilité par les différents membres de l'équipe des évaluateurs. De bonnes compétences en gestion de projet, gestion de changement et des connaissances poussées en gestion agile sont importantes pour cet acteur.

Ensuite, l'équipe des évaluateurs doit être composée d'au moins 3 experts. Un expert du côté-fournisseurs, un expert en production interne et un expert du côté-clients ayant respectivement une connaissance détaillée des différents changements dans l'approvisionnement, la production et la distribution ainsi que les solutions adoptées pour faire face à ces changements. Des membres de l'équipe d'amélioration continue peuvent s'ajouter à l'équipe de transformation, d'un côté pour avoir connaissance des projets d'amélioration en cours et les solutions adoptées, et d'un autre côté, pour un partage des meilleures pratiques utilisées au sein de l'entreprise.

Le choix d'une équipe de transformation pluridisciplinaire et de plusieurs départements de l'entreprise a pour but d'assurer que toutes les dimensions de la chaîne logistique sont couvertes avec la même importance et que l'analyse de la base de connaissance se fait selon plusieurs visions.

3.3.2 Analyser la base de connaissance

La revue de littérature menée sur l'agilité des chaînes logistiques nous a permis de développer un cadre d'analyse dans le but de relier les facteurs-conducteurs aux objectifs et aux leviers d'amélioration de l'agilité. Les résultats du cadre d'analyse sont listés dans les tableaux 3.1 à 3.3. Les facteurs-conducteurs de l'agilité au tableau 3.1, les objectifs de l'agilité au tableau 3.2 et les leviers d'amélioration de l'agilité au tableau 3.3.

Afin de s'assurer d'avoir la même compréhension des aspects dans ces tableaux, le responsable du projet d'amélioration doit organiser plusieurs séances pour présenter ces aspects et discuter de leurs limites. La présentation d'études de cas de la littérature ou des projets précédents permettra un meilleur transfert de connaissance au sein de l'équipe. Le responsable du projet peut aussi détailler un facteur en plusieurs aspects du fait de ces caractéristiques multi dimensionnelles.

Cette étape est primordiale pour la continuité de la méthodologie d'amélioration puisque cette dernière prend en considération les facteurs-conducteurs qui sont perçus dans l'environnement industriel et la totalité des objectifs et des leviers d'amélioration présentés dans les tableaux 3.1 à 3.3.

Tableau 3.1 : Base de connaissances des facteurs-conducteurs

La technologie	Changements de la technologie (produit, processus, IT)
	L'introduction de nouvelles technologies
Les clients	Variation de la demande des clients en termes de volume
	Variation en termes de variétés
	Variation du délai de livraison
	Variation du délai de mise en marché
	Changement du besoin en termes de qualité
Aspect légal	Les changements des réglementations internationales
	La privatisation des entreprises publiques
	Les changements des réglementations d'approvisionnement
	Les fusions et acquisitions
Les facteurs sociaux	Les problèmes culturels
	Les changements des contrats sociaux
Le marché	La croissance du marché
	La pression de la concurrence
Les fournisseurs	Variation de la qualité des produits approvisionnés
	Variation du volume des produits approvisionnés
	Variation des délais d'approvisionnement
	Changements dans la disponibilité des fournisseurs
	Variation du coût des produits approvisionnés
Les risques inconnus	Météo, stabilité politique, catastrophe naturelle, accident, etc.
Les changements intra-organisationnels	La taille de l'entreprise et de son réseau
	Le nombre et l'hétérogénéité des tâches
	Les processus
	La variabilité des durées des tâches
	Le délai d'attente
	Les rejets et les modifications du produit
	La stabilité de la qualité des produits
	La stabilité du temps de mise en œuvre
	La stabilité du coût du processus
	La stabilité du coût de production
	Les pannes des machines
	Les changements de la main-d'œuvre

Tableau 3.2 : Base de connaissances des objectifs

Flexibilité	Flexibilité d'approvisionnement	Flexibilité du volume
		Flexibilité des délais
	Flexibilité de livraison	Flexibilité du volume
		Flexibilité des délais
	Flexibilité de production	Flexibilité du produit
		Flexibilité des machines
		Flexibilité de la main-d'œuvre
Flexibilité de développement de produit		
Réactivité	La capacité de rester vigilant	
	La capacité de répondre rapidement	
Robustesse - La capacité de maintenir l'efficacité à travers un ensemble de tâches, situations et conditions (Alberts & Hayes, 2003)		
Résilience - La capacité de se rétablir ou de s'ajuster d'un dommage ou d'un évènement perturbateur de l'environnement (Alberts & Hayes, 2003)		
Innovation - la capacité de produire de la nouveauté et la capacité de réaliser les vieilles choses d'une nouvelle manière (Alberts & Hayes, 2003)		
Adaptabilité - : la capacité de réaliser des changements dans les processus de travail et dans l'organisation (Alberts & Hayes, 2003)		

Tableau 3.3 : Base de connaissances des leviers d'amélioration

Stratégies	Stratégies de gestion des approvisionnements (GA)	La création de partenariats stratégiques (PS)
		L'approvisionnement stratégique (AS)
		Encourager les fournisseurs à innover (INN)
		Le développement des fournisseurs (DF)
	Stratégies de gestion de la demande (GD)	La maîtrise de la volatilité du marché (VM)
		L'amélioration de la performance de livraison (PL)
		La satisfaction du client (SC)
	Stratégies de gestion de la production (GP)	La planification (PI)
		L'exécution (Ex)
	Stratégies de gestion de l'organisation et de l'information (GOI)	L'intégration de l'information (II)
L'intégration des processus (IP)		
L'automatisation (Aut)		
Les technologies	La technologie de l'information et de la communication (TIC)	
Les systèmes	Les systèmes de conception et de fabrication	Les systèmes de conception assistée par ordinateur (CAO)
		Les systèmes de fabrication assistée par ordinateur (FAO)
		Les systèmes de test informatisé (CAT)
		Les outils d'assemblage automatisé (AA)
	Les systèmes de planification et de contrôle	Les modèles collaboratifs de planification, de prévision, et de réapprovisionnement (CPFR)
		Les progiciels de gestion intégrée (PGI-ERP)
		Les systèmes de management par la qualité totale (MQT)
		Les systèmes de planification des processus assistée par ordinateur (CAPP)
	Les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données.	Les systèmes de gestion d'informations
		Les systèmes d'échange de données informatisé (EDI)
Les compétences humaines	Le partage du savoir-faire	
	L'intégration des compétences	
	La formation et l'éducation des employés	
	L'amélioration de la culture d'entreprise (culture du changement)	

3.3.3 Les échelles floues

Dans le but d'assister les évaluateurs dans l'évaluation des différents facteurs, la logique floue a été adoptée pour que les réponses des évaluateurs se fassent d'une manière linguistique plutôt que d'une manière numérique. La théorie des ensembles flous permet de faire face aux imprécisions ainsi qu'au caractère flou des facteurs (Ou Yang, Shieh, & Tzeng, 2013).

Cinq ensembles de termes linguistiques ainsi que leurs fonctions d'appartenance correspondantes sont nécessaires pour l'utilisation de la méthodologie d'amélioration. Le premier ensemble a pour but d'évaluer les niveaux de changements des facteurs-conducteurs, le deuxième ensemble est l'échelle des relations pour évaluer les niveaux d'influence des objectifs sur les facteurs-conducteurs et des leviers d'amélioration sur les objectifs, le troisième ensemble a pour but d'évaluer la performance des leviers d'amélioration dans la chaîne logistique, le quatrième ensemble a pour but d'évaluer le niveau d'agilité et le cinquième ensemble a pour but d'évaluer la force de relation entre les leviers d'amélioration.

Il est généralement suggéré qu'un ensemble de termes linguistiques aient sept niveaux, ce qui représente la capacité de discrétisation humaine (Chen & Hwang, 1992). Nous utilisons 7 termes linguistiques pour l'évaluation des niveaux de changements des facteurs-conducteurs, de la performance des leviers d'amélioration, du niveau d'agilité et de la force de relation entre les leviers d'amélioration. Par contre, il a été suggéré de réduire le nombre de termes linguistiques pour l'évaluation des niveaux d'influence des objectifs sur les facteurs-conducteurs et des leviers d'amélioration sur les objectifs, vu que le nombre de comparaisons à réaliser est trop important par rapport aux autres évaluations (144 comparaisons nécessaires pour évaluer les niveaux d'influence des objectifs sur les facteurs-conducteurs Vs 12 comparaisons pour déterminer la performance des facteurs-conducteurs) et qu'il est plus difficile de se rappeler de la différence entre 7 termes à la fois lorsque le nombre de comparaisons est élevé.

Pour chaque terme linguistique, nous adoptons des fonctions d'appartenance de type triangulaires. Plusieurs travaux d'évaluation des aspects managériales utilisent ce type de fonctions d'appartenance, par exemple :

- Lin et al. (2006) dans l'évaluation de l'agilité des chaînes logistiques;
- Abreu et Calado (2017) dans l'évaluation de la gestion Lean des organisations; et

- Sabaghi, Mascle, Baptiste et Rostamzadeh (2016) dans l'évaluation de la durabilité des produits.

Les tableaux 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 et 3.8 présentent respectivement les termes linguistiques ainsi que leurs fonctions d'appartenance de l'échelle d'évaluation des niveaux de changement, de l'échelle d'évaluation des relations, de l'échelle d'évaluation de la performance des leviers d'amélioration, de l'échelle d'évaluation du niveau d'agilité et de l'échelle d'évaluation de la force de relation entre les leviers d'amélioration.

Tableau 3.4 : Échelle d'évaluation des niveaux de changement

Niveaux des changements des facteurs-conducteurs		
Les termes linguistiques	Abréviation	La fonction d'appartenance
Extrêmement bas	EB	T (0; 0,05; 0,15)
Très bas	TB	T (0,1; 0,2; 0,3)
Bas	B	T (0,2; 0,35; 0,5)
Moyen	M	T (0,3; 0,5; 0,7)
Haut	H	T (0,5; 0,65; 0,8)
Très haut	TH	T (0,7; 0,8; 0,9)
Extrêmement haut	EH	T (0,85; 0,95; 1)

Tableau 3.5 : Échelle d'évaluation des relations

Niveaux d'influence des objectifs sur les facteurs-conducteurs et des leviers d'améliorations sur les objectifs		
Les termes linguistiques	Abréviation	La fonction d'appartenance
Très basse	TB	T (0; 0,1; 0,2)
Basse	B	T (0,1; 0,25; 0,4)
Moyenne	M	T (0,3; 0,5; 0,7)
Haute	H	T (0,6; 0,75; 0,9)
Très haute	TH	T (0,8; 0,9; 1)

Tableau 3.6 : Échelle d'évaluation de la performance des leviers d'amélioration

Performance des leviers d'amélioration		
Les termes linguistiques	Abréviation	La fonction d'appartenance
Pire	P	T (0; 0,05; 0,15)
Très mauvais	TM	T (0,1; 0,2; 0,3)
Mauvais	M	T (0,2; 0,35; 0,5)
Juste	J	T (0,3; 0,5; 0,7)
Bien	B	T (0,5; 0,65; 0,8)
Très bien	TB	T (0,7; 0,8; 0,9)
Excellent	E	T (0,85; 0,95; 1)

Tableau 3.7 : Échelle d'évaluation du niveau d'agilité

Niveaux d'agilité		
Les termes linguistiques	Abréviation	La fonction d'appartenance
Non agile	NA	T (0; 0,15; 0,3)
Très peu agile	TPA	T (0,15; 0,3; 0,45)
Peu agile	PA	T (0,3; 0,45; 0,6)
Moyennement agile	MA	T (0,45; 0,6; 0,7)
Hautement agile	HA	T (0,6; 0,7; 0,8)
Très agile	TA	T (0,7; 0,8; 0,9)
Extrêmement agile	EA	T (0,8; 0,9; 1)

Tableau 3.8 : Échelle d'évaluation de la force de relation entre les leviers d'amélioration

Force de relation entre les leviers d'amélioration		
Les variables linguistiques	Abréviation	La fonction d'appartenance
Aucune influence	A	T (0; 0; 0)
Très basse influence	TB	T (0; 0,15; 0,3)
Basse influence	B	T (0,15; 0,3; 0,5)
Influence moyenne	M	T (0,3; 0,5; 0,7)
Haute influence	H	T (0,5; 0,7; 0,85)
Très haute influence	TH	T (0,7; 0,85; 1)
Influence complète	C	T (1; 1; 1)

3.4 L'étape « Planifier »

3.4.1 Sélectionner les facteurs-conducteurs de l'agilité

Dans cette étape, d'abord des entretiens semi-dirigés entre le responsable du projet et chacun des experts sont réalisés pour déterminer les facteurs-conducteurs de l'agilité perçus dans l'environnement industriel. Les données et les informations liées à chacun des facteurs-conducteurs sont listées par expert. Ensuite lors d'une réunion entre les membres de l'équipe de transformation, les informations générées sont discutées pour se mettre d'accord sur les facteurs-conducteurs à utiliser et ceux à ne pas considérer.

Cette étape est très importante puisque tous les experts doivent se mettre d'accord sur les facteurs-conducteurs qui seront utilisés dans l'évaluation. Si les experts ne sont pas d'accord sur l'exclusion d'un facteur-conducteur, ce dernier sera pris en compte dans l'évaluation de l'agilité. Le fait de considérer un facteur-conducteur dont certains experts ne sont pas d'accord n'influencera pas le résultat, mais augmentera seulement la taille des calculs.

3.4.2 Évaluer l'agilité de la chaîne logistique

La méthode d'évaluation de l'agilité de la chaîne logistique présentée dans la figure 3.3 se compose de 3 parties.

La première partie consiste à évaluer le besoin de l'agilité, et ceci en mettant en relation dans un premier temps les facteurs-conducteurs et les objectifs, ensuite en mettant en relation les objectifs de l'agilité avec les leviers d'amélioration en utilisant la méthode de décision multicritères QFD (Chan & Wu, 2002). Ceci nous permettra d'obtenir l'importance de chaque levier d'amélioration pour faire face aux facteurs-conducteurs. La deuxième partie consiste à évaluer la performance réelle des leviers d'amélioration dans la chaîne logistique. La troisième partie de synthèse des résultats consiste à agréger les résultats de tous les évaluateurs et de déterminer l'indice d'agilité. Puisque ce dernier est déterminé dans l'ensemble flou, une méthode d'association de l'indice d'agilité avec l'échelle de mesure de l'agilité est utilisée pour obtenir le niveau d'agilité.

Une description détaillée de ces 3 parties est présentée dans les paragraphes suivants.

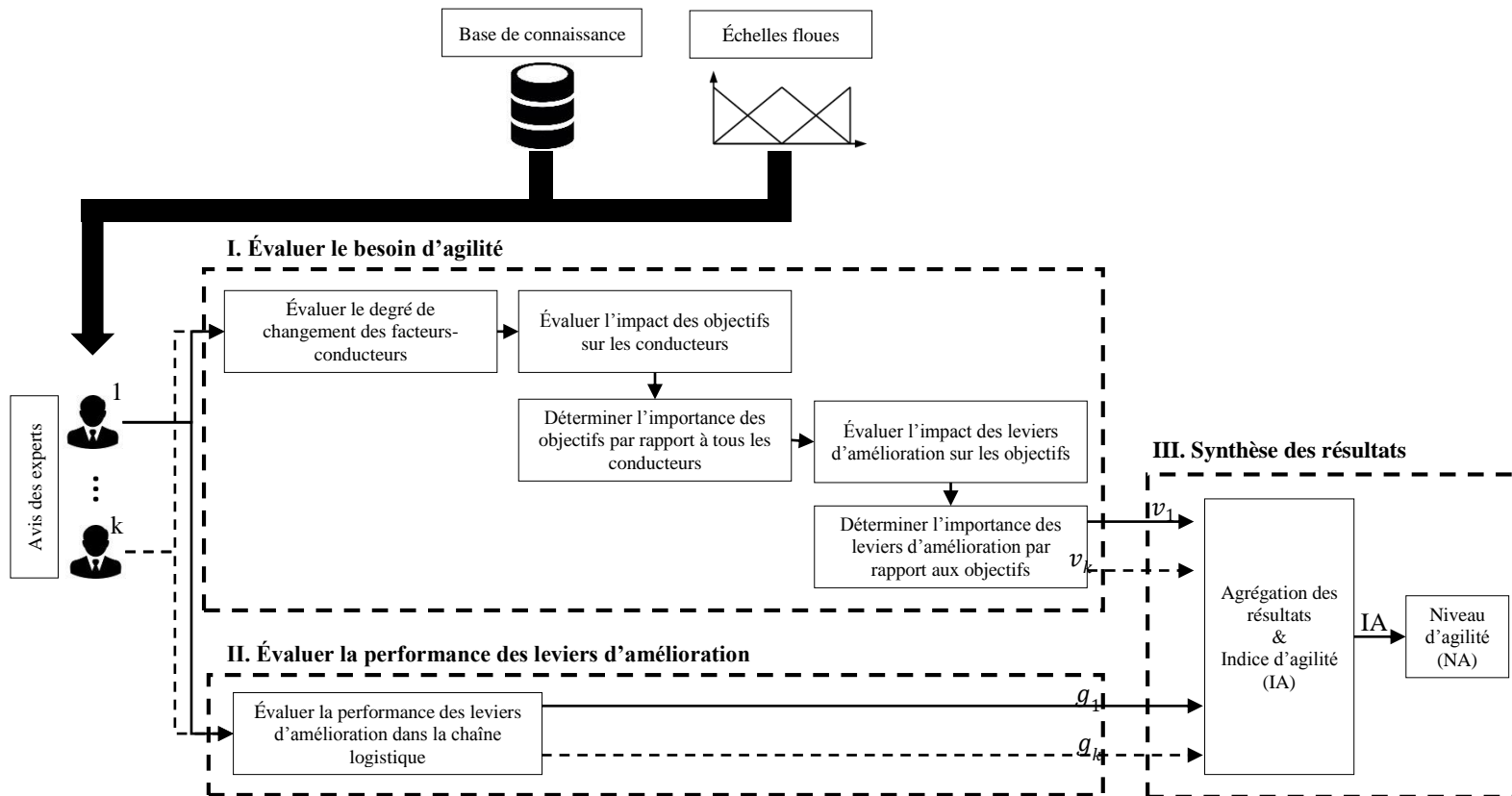


Figure 3.3 : Méthodologie d'évaluation de l'agilité

3.4.2.1 Évaluer le besoin d'agilité

Durant cette étape, des entretiens semi-dirigés avec chacun des évaluateurs sont effectués dans le but d'évaluer le besoin d'agilité.

3.4.2.1.1 Étape 1 : Évaluer le degré de changement des facteurs-conducteurs

En utilisant l'échelle floue d'évaluation des niveaux de changements, chaque évaluateur E_i doit associer un degré de changement en valeur linguistique pour chacun des facteurs-conducteurs C_j choisis.

Pour chaque évaluateur E_i , la fonction d'appartenance w_j^i associée à la valeur linguistique du degré de changement de chaque facteur-conducteur C_j est groupée dans l'ensemble :

$$W^i = \{w_1^i, \dots, w_j^i, \dots, w_l^i\}$$

Avec i : l'indice représentant l'évaluateur et $i \in [1, \dots, k]$

j : l'indice représentant le facteur-conducteur et $j \in [1, \dots, l]$

3.4.2.1.2 Étape 2 : Évaluer l'impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs.

Durant cette étape, l'expert évalue l'impact de chaque objectif O_r sur chaque facteur conducteur C_j en utilisant l'échelle des relations.

Pour chaque évaluateur E_i , la fonction d'appartenance i_{jr}^i associée à la valeur linguistique de l'impact de chaque objectif O_r sur chaque facteur-conducteur C_j est groupée dans la matrice :

$$I^i = \begin{bmatrix} i_{11}^i & \dots & i_{1r}^i & \dots & i_{1m}^i \\ \vdots & & & & \vdots \\ i_{j1}^i & & \ddots & & i_{jm}^i \\ \vdots & & & & \vdots \\ i_{l1}^i & \dots & i_{lr}^i & \dots & i_{lm}^i \end{bmatrix}$$

Avec i : l'indice représentant l'évaluateur et $i \in [1, \dots, k]$

j : l'indice représentant le facteur-conducteur et $j \in [1, \dots, l]$

r : l'indice représentant l'objectif et $r \in [1, \dots, m]$

3.4.2.1.3 Étape 3 : Déterminer l'importance des objectifs par rapport à l'ensemble des facteurs-conducteurs

Afin de déterminer l'importance des objectifs par rapport à l'ensemble des facteurs-conducteurs, nous utilisons la moyenne pondérée floue proposée par la méthode QFD (Guh, Po, & Lee, 2008) et qui permet de mettre en relation l'impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs (I^i) et le degré de changement des facteurs-conducteurs (W^i).

Pour chaque évaluateur E_i , la fonction d'appartenance u_r^i associée à la valeur linguistique de l'importance de chaque objectif O_r par rapport à l'ensemble des facteurs-conducteurs est groupée dans l'ensemble $U^i = \{u_1^i, \dots, u_r^i, \dots, u_m^i\}$ et est calculée en utilisant l'éq. (10).

$$u_r^i = \frac{\sum_{j=1}^l w_j^i \otimes i_{jr}^i}{\sum_{j=1}^l w_j^i} \quad (10)$$

Avec i : l'indice représentant l'évaluateur et $i \in [1, \dots, k]$

r : l'indice représentant l'objectif et $r \in [1, \dots, m]$

3.4.2.1.4 Étape 4 : Évaluer l'impact des leviers d'amélioration sur les objectifs

Durant cette étape, l'évaluateur évalue l'impact de chaque levier d'amélioration L_s sur chaque objectif O_r en utilisant l'échelle des relations.

Pour chaque évaluateur E_i , la fonction d'appartenance j_{rs}^i associée à la valeur linguistique de l'impact de chaque levier d'amélioration L_s par rapport à chaque objectif O_r est groupée dans la

$$\text{matrice } J^i = \begin{bmatrix} j_{11}^i & \dots & j_{1s}^i & \dots & j_{1n}^i \\ \vdots & & & & \vdots \\ j_{r1}^i & & \ddots & & j_{rn}^i \\ \vdots & & & & \vdots \\ j_{m1}^i & \dots & j_{ms}^i & \dots & j_{mn}^i \end{bmatrix}$$

Avec i : l'indice représentant l'évaluateur et $i \in [1, \dots, k]$

r : l'indice représentant l'objectif et $r \in [1, \dots, m]$

s : l'indice représentant le levier d'amélioration et $s \in [1, \dots, n]$

3.4.2.1.5 Étape 5 : Déterminer l'importance des leviers d'amélioration par rapport à l'ensemble des objectifs

Afin de déterminer l'importance des leviers d'amélioration par rapport à l'ensemble des objectifs, nous utilisons la moyenne pondérée floue proposée par la méthode QFD (Guh et al., 2008) et qui permet de mettre en relation l'impact des leviers d'amélioration sur les objectifs (J^i) et l'importance des objectifs par rapport à l'ensemble des facteurs-conducteurs (U^i).

Pour chaque évaluateur E_i , la fonction d'appartenance v_s^i associée à la valeur linguistique de l'importance de chaque levier d'amélioration L_s par rapport à l'ensemble des objectifs est groupée dans l'ensemble $V^i = \{v_1^i, \dots, v_s^i, \dots, v_n^i\}$ et est calculée en utilisant l'éq. (11).

$$v_s^i = \frac{\sum_{r=1}^m u_r^i \otimes j_{rs}^i}{\sum_{r=1}^m u_r^i} \quad (11)$$

Avec i : l'indice représentant l'évaluateur et $i \in [1, \dots, k]$

s : l'indice représentant le levier d'amélioration et $s \in [1, \dots, n]$

Pour résoudre les équations des moyennes pondérées floues, plusieurs approches ont été proposées (Guh et al., 2008; Kao & Liu, 2001; Lee, D. H. & Park, 1997). Nous utilisons l'approche de programmation fractionnée développée par Kao et Liu (2001) et (Guh et al., 2008) puisque cette approche permet de déterminer la solution exacte contrairement à l'approximation donnée par les éqs. (5) et (6).

Soit $\{X_1, \dots, X_d\}$ et $\{Y_1, \dots, Y_d\}$ respectivement l'importance relative floue et la performance floue d'un facteur (ex. objectif ou levier d'amélioration), la moyenne pondérée floue (Z) de ces deux ensembles est donnée par l'éq. (12).

$$Z = \frac{\sum_{k=1}^d X_k \otimes Y_k}{\sum_{k=1}^d X_k} \quad (12)$$

En posant $t = \frac{1}{\sum_{k=1}^d X_k}$ et $T_k = t \otimes X_k$, les limites inférieures et supérieures de la coupe α de Z sont données par les éqs. (13) et (14).

$$(Z)_\alpha^L = \min Z = \sum_{k=1}^d T_k \otimes (Y_k)_\alpha^L \quad (13)$$

$$\text{s.c.} \quad t \otimes (X_k)_\alpha^L \leq T_k \leq t \otimes (X_k)_\alpha^U, \quad k = 1, \dots, d$$

$$\sum_{k=1}^d T_k = 1$$

$$(Z)_\alpha^U = \max Z = \sum_{k=1}^d T_k \otimes (Y_k)_\alpha^U \quad (14)$$

$$\text{s.c.} \quad t \otimes (X_k)_\alpha^L \leq T_k \leq t \otimes (X_k)_\alpha^U, \quad k = 1, \dots, d$$

$$\sum_{k=1}^d T_k = 1$$

En énumérant plusieurs valeurs de α , la fonction d'appartenance de Z est constituée.

3.4.2.2 Évaluer la performance des leviers d'amélioration

En utilisant l'échelle floue d'évaluation de la performance des leviers d'amélioration, chaque évaluateur E_i doit associer un état en valeurs linguistiques représentant la performance réelle de chaque levier d'amélioration L_s pour faire face aux facteurs-conducteurs sélectionnés.

Pour chaque évaluateur E_i , la fonction d'appartenance g_s^i associée à la valeur linguistique de la performance de chaque levier d'amélioration L_s est groupée dans l'ensemble :

$$G^i = \{g_1^i, \dots, g_s^i, \dots, g_n^i\}$$

Avec i : l'indice représentant l'évaluateur et $i \in [1, \dots, k]$

s : l'indice représentant le levier d'amélioration et $s \in [1, \dots, n]$

3.4.2.3 Agréger les résultats de tous les évaluateurs

Plusieurs méthodes existent pour agréger les résultats de plusieurs évaluateurs (moyenne, médiane, mode). Nous utilisons la moyenne arithmétique puisque nous considérons que le résultat de chaque évaluateur est considéré à part égale dans le jugement final.

Soit $v_s^i = T(a_s^i, b_s^i, c_s^i)$ la fonction d'appartenance associée à la valeur linguistique de l'importance relative du levier d'amélioration L_s pour l'évaluateur E_i

Soit $g_s^i = T(a_s^i, b_s^i, c_s^i)$ la fonction d'appartenance associée à la valeur linguistique de la performance du levier d'amélioration L_s pour l'évaluateur E_i

L'agrégation des évaluations pour le calcul des fonctions d'appartenance associées aux valeurs linguistiques de l'importance relative moyenne v_s et de la performance moyenne g_s du levier d'amélioration L_s est donnée par les éqs. (15) et (16).

$$v_s = T(a_s, b_s, c_s) = \frac{\sum_{i=1}^k v_s^i}{k} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k a_s^i}{k}, \frac{\sum_{i=1}^k b_s^i}{k}, \frac{\sum_{i=1}^k c_s^i}{k} \right) \quad (15)$$

$$g_s = T(a'_s, b'_s, c'_s) = \frac{\sum_{i=1}^k g_s^i}{k} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k a'^i_s}{k}, \frac{\sum_{i=1}^k b'^i_s}{k}, \frac{\sum_{i=1}^k c'^i_s}{k} \right) \quad (16)$$

3.4.2.4 Calculer l'indice d'agilité

L'indice d'agilité est une mesure d'information qui regroupe l'importance moyenne floue et la performance moyenne floue de tous les leviers d'amélioration permettant de faire face aux différents facteurs-conducteurs sélectionnés.

L'indice d'agilité (IA) est calculé en utilisant l'éq. (17).

$$IA = \frac{\sum_{s=1}^n v_s \otimes g_s}{\sum_{s=1}^n v_s} \quad (17)$$

L'indice d'agilité est une fonction d'appartenance triangulaire comprise entre les fonctions d'appartenance $T(0, 0, 0)$ et $T(1, 1, 1)$. Plus l'indice d'agilité proche de $T(1, 1, 1)$, plus la chaîne logistique est agile.

3.4.2.5 Associer le résultat à un niveau d'agilité

Une fois l'indice d'agilité obtenu, il faut le comparer selon l'échelle floue d'évaluation du niveau d'agilité défini auparavant.

Il existe plusieurs méthodes d'association des fonctions d'appartenance avec un terme linguistique, parmi elles la distance euclidienne, l'approximation successive et la décomposition par morceaux.

Nous utilisons la méthode basée sur la distance euclidienne puisqu'elle est la méthode la plus intuitive à utiliser pour percevoir la proximité (Guesgen & Albrecht, 2000) et la plus souvent utilisée dans la littérature (Lin et al., 2006; Tseng & Lin, 2011).

La méthode basée sur la distance euclidienne calcule la distance euclidienne entre l'indice d'agilité (fonction d'appartenance triangulaire) et la fonction d'appartenance de chacun des termes linguistiques dans l'échelle d'évaluation des niveaux de l'agilité.

La distance euclidienne est calculée en utilisant l'éq. (18).

$$d(IA; TL_i) = \sqrt{\left(\sum_{x \in p} \left(IA(x) - \mu_{TL_i}(x)\right)^2\right)} \quad (18)$$

Avec IA : l'indice d'agilité

TL_i : Le terme linguistique i dans l'échelle d'évaluation des niveaux d'agilité (i : 1, ..., 7)

$\mu_{TL_i}(x)$: La fonction d'appartenance du terme linguistique TL_i

$p = [x_0, x_1, \dots, x_q] \subset [0,1]$ tel que $0 = x_0 < x_1 < \dots < x_q = 1$

Pour simplifier les calculs, nous considérons la discrétisation de l'axe x comme suit :

$$p = [0; 0.05; 0.1; 0.15; 0.2; 0.25; 0.3; 0.35; 0.4; 0.45; 0.5; 0.55; 0.6; 0.65; 0.7; 0.75; 0.8; 0.85; 0.9; 0.95; 1]$$

Une fois que les distances entre l'indice d'agilité et les fonctions d'appartenance de chacun des termes linguistiques sont calculées, le niveau d'agilité de la chaîne logistique associé à l'indice de l'agilité calculé est égal au terme linguistique d'évaluation du niveau d'agilité ayant la plus petite distance à l'indice d'agilité.

3.4.3 Déterminer le niveau d'agilité souhaité

Après l'obtention du niveau réel d'agilité de la chaîne logistique, l'équipe des experts doit déterminer le niveau souhaité d'agilité $NA(souhaité)$ à atteindre après l'amélioration des processus de gestion de la chaîne logistique selon l'engagement de la direction et en tenant compte des ressources disponibles. Une analyse de l'écart entre le niveau réel et le niveau souhaité d'agilité est effectuée pour valider le passage aux étapes suivantes.

3.4.4 Déterminer les contributions des leviers d'améliorations

Dans le but d'assister les évaluateurs dans l'identification des principaux facteurs empêchant l'atteinte d'un niveau d'agilité supérieur. Un classement des leviers d'amélioration à l'aide de l'indice de contribution du levier d'amélioration noté (ICL_s) est défini et représente la contribution du levier L_s à améliorer l'agilité de la chaîne logistique face à l'ensemble des facteurs-conducteurs

sélectionnés, et ce en combinant la performance moyenne g_s et l'importance relative moyenne v_s du levier d'amélioration L_s .

Le calcul de l'indice (ICL_s) en utilisant directement la multiplication de la performance moyenne g_s avec l'importance relative moyenne v_s ne nous permettra pas de déterminer la contribution du levier d'amélioration L_s du fait que la valeur floue d'importance relative moyenne v_s aura un effet neutralisant sur la valeur floue de la performance moyenne g_s (nous obtenons le même résultat entre une importance faible avec une performance élevée et une importance moyenne avec une performance moyenne). Un levier avec une performance élevée et une importance élevée a une contribution élevée, par contre dans une optique d'amélioration, le plus logique est de se concentrer sur des leviers avec une performance faible et une importance élevée.

Pour montrer la contribution du levier d'amélioration dans ce cas, nous utilisons la fonction d'appartenance $v'_s = (1, 1, 1) \ominus v_s$ qui est le complément de la fonction d'appartenance v_s car lorsque l'importance de la fonction d'appartenance v_s est grande, celle de v'_s est faible. Ainsi, le facteur de contribution du levier d'amélioration L_s dans l'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique est donné par l'éq. (19).

$$ICL_s = g_s \otimes [(1, 1, 1) \ominus v_s] \quad (19)$$

Ainsi, plus l'indice (ICL_s) est faible, plus la contribution du levier d'amélioration à l'agilité de la chaîne logistique est faible.

Puisque les indices de contribution des leviers d'amélioration sont des nombres flous, et comme nous n'arrivons pas à classer les nombres flous de la même manière que les nombres réels, l'utilisation d'une méthodologie de passage du domaine flou au domaine réel est nécessaire pour le classement des leviers d'amélioration.

Plusieurs méthodes de classement des nombres flous existent dans la littérature : la méthode du centroïde (Vinodh & Vimal, 2012); la méthode basée sur le rang, le mode, la divergence et l'envergure (Samantra et al., 2013); la méthode probabiliste (Zhang, F., Ignatius, Lim, & Zhao, 2014) et la méthode de classification « Left-and right » (Hwang, Chen, & Hwang, 1992).

La méthode de classification « Left and right » proposée par Hwang et al. (1992) est la méthode la plus souvent utilisée dans les travaux de classification dans le domaine de l'agilité puisqu'elle considère la position absolue de chaque nombre flou. Nous adoptons cette méthodologie pour la

classification des nombres flous. Cette méthode définit deux ensembles flous (l'ensemble maximisant et l'ensemble minimisant) tel que présenté dans les éqs. (20) et (21).

$$U_{max} = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \quad (20)$$

$$U_{min} = \begin{cases} 1 - x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \quad (21)$$

Soit un nombre flou triangulaire $ICL_s(a, b, c)$.

La fonction d'appartenance de ce nombre flou est définie par :

$$U_{ICL_s} : \mathcal{R} \rightarrow [0, 1]$$

$$\text{Et } U_{ICL_s}(x) = \begin{cases} (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b); & b \leq x \leq c \\ 0 & ; \text{sinon} \end{cases}$$

Les scores de droite « Right » et de gauche « Left » du nombre flou ICL_s sont obtenus respectivement en utilisant les éqs. (22) et (23).

$$U_R(ICL_s) = \sup_x [U_{ICL_s}(x) \cap U_{max}(x)] \quad (22)$$

$$U_L(ICL_s) = \sup_x [U_{ICL_s}(x) \cap U_{min}(x)] \quad (23)$$

Ainsi, le score final du nombre flou ICL_s est obtenu en utilisant l'éq. (24).

$$U_T(ICL_s) = [U_R(ICL_s) + 1 - U_L(ICL_s)] / 2 \quad (24)$$

3.4.5 Déterminer l'interdépendance entre les leviers d'amélioration

L'objectif de cette étape est de déterminer la relation entre les leviers d'amélioration. Pour cela, nous utilisons la méthode de modélisation structurelle interprétative « Interpretive structural modeling » (ISM). Lors de cette étape, le responsable du projet d'amélioration rencontre l'ensemble de l'équipe d'évaluateurs pour déterminer l'interdépendance entre les leviers d'améliorations. Le responsable de projet d'amélioration commence par présenter la méthode ISM et son objectif, ensuite guide les évaluateurs dans la détermination des relations entre les leviers d'amélioration. La différence des opinions est discutée jusqu'à obtention d'une solution.

La méthode ISM a été développée par Warfield (1974) pour analyser la relation entre des éléments spécifiques à un problème. La figure 3.4 présente les étapes de cette méthode poursuivie dans la détermination de l'interdépendance entre les leviers d'amélioration.

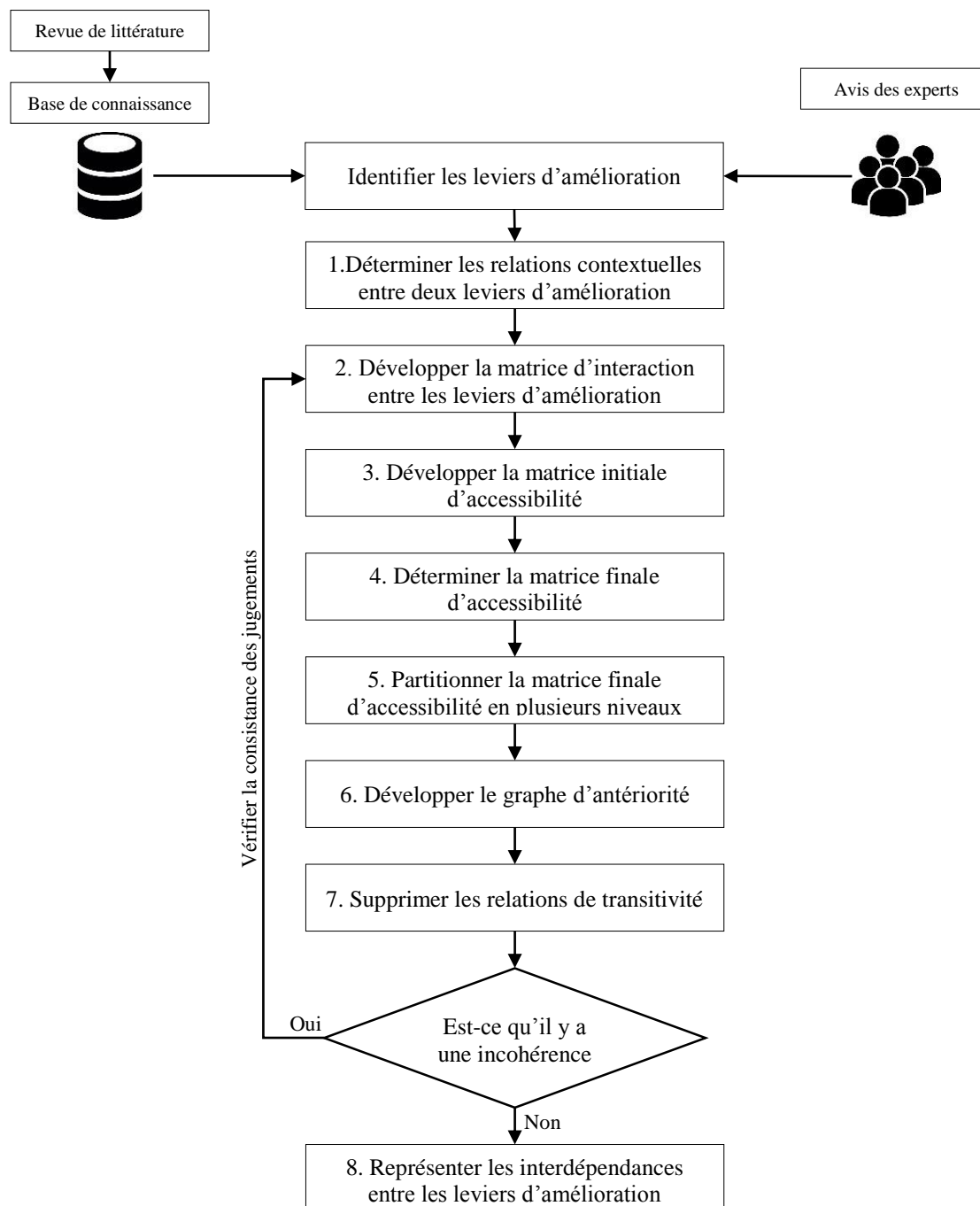


Figure 3.4 : Méthodologie de détermination des interdépendances entre les leviers d'amélioration

En considérant les leviers d'amélioration utilisés dans l'évaluation de l'agilité de la chaîne logistique, les étapes de la méthodologie ISM suivies pour la détermination des relations entre les leviers d'amélioration sont les suivantes :

- Étape 1 : Déterminer les relations contextuelles entre deux leviers d'amélioration à utiliser lors de l'évaluation. Plusieurs types de relations existent: les relations comparatives, les relations d'influences, les relations neutres et les relations temporelles (Bhosale & Kant, 2016). Pour l'analyse des leviers d'amélioration de l'agilité, les relations contextuelles d'influence sont choisies puisque notre objectif est de déterminer des relations d'interdépendance entre des facteurs. Les quatre symboles suivants ont été utilisés pour indiquer le sens de la relation entre le levier L_i et le levier L_j :
 - V : Le levier L_i influence le développement du levier L_j
 - A : Le développement du levier L_i est influencé par le levier L_j
 - X : Les Leviers L_i et L_j s'entraident dans leur développement
 - O : Aucune influence entre les leviers L_i et L_j
- Étape 2 : La matrice d'interaction est développée en faisant des comparaisons par paire entre les leviers d'amélioration, et ce en utilisant les relations contextuelles déterminées auparavant,
- Étape 3 : La matrice initiale d'accessibilité est développée en remplaçant les symboles de la matrice d'interaction par des chiffres binaires (0 ou 1) et ce en utilisant les règles de passage suivant :
 - Si l'image du couple (i, j) dans la matrice d'interaction est V, alors la valeur du couple (i,j) dans la matrice d'accessibilité devient 1 et la valeur du couple (j, i) devient 0.
 - Si l'image du couple (i, j) dans la matrice d'interaction est A, alors la valeur du couple (i,j) dans la matrice d'accessibilité devient 0 et la valeur du couple (j, i) devient 1.

- Si l'image du couple (i, j) dans la matrice d'interaction est X, alors la valeur du couple (i, j) dans la matrice d'accessibilité devient 1 et la valeur du couple (j, i) devient 1.
- Si l'image du couple (i, j) dans la matrice d'interaction est O, alors la valeur du couple (i, j) dans la matrice d'accessibilité devient 0 et la valeur du couple (j, i) devient 0.
- Étape 4 : La matrice finale d'accessibilité est développée à partir de la matrice initiale d'accessibilité. Une vérification des relations ayant le score « 0 » dans la matrice initiale d'accessibilité est alors effectuée en utilisant la propriété de transitivité. Cette propriété indique que si le levier L_1 a une influence sur le levier L_2 et le levier L_2 a une influence sur le levier L_3 , alors le levier L_1 a une influence sur le levier L_3 . Le score de cette relation passe alors à « 1* » dans la matrice finale d'accessibilité pour inclure la transitivité dans la matrice.
- Étape 5 : Partitionner la matrice finale d'accessibilité en plusieurs niveaux, et ce en évaluant les ensembles d'accessibilité et d'antériorité pour chaque levier d'amélioration.

Les leviers d'amélioration susceptibles d'être réalisés à travers le levier d'amélioration L_i constituent l'ensemble d'accessibilité $R(L_i)$. Cet ensemble est déterminé par les leviers d'amélioration dans la colonne de la matrice finale d'accessibilité ayant un résultat de « 1 » ou « 1* » dans la ligne du levier d'amélioration L_i .

Les leviers d'amélioration susceptibles de contribuer à la réalisation du levier d'amélioration L_i constituent l'ensemble d'antériorité $A(L_i)$. Cet ensemble est déterminé par les leviers d'amélioration dans la ligne de la matrice finale d'accessibilité ayant un résultat de « 1 » ou « 1* » dans la colonne du levier d'amélioration L_i .

La matrice d'accessibilité finale est partitionnée selon le processus suivant :

- L'ensemble d'accessibilité $R(L_i)$ doit être déterminé pour chaque levier d'amélioration L_i .
- L'ensemble d'antériorité $A(L_i)$ doit être déterminé pour chaque levier d'amélioration L_i .

- L'ensemble d'intersections $R(L_i) \cap A(L_i)$ doit être déterminé pour chaque levier d'amélioration.
- Les leviers d'amélioration pour lesquels l'ensemble d'accessibilité $R(L_i)$ et l'ensemble d'intersections $R(L_i) \cap A(L_i)$ sont identiques constituent les éléments du niveau supérieur (premier niveau) dans la hiérarchie du graphe de la méthode ISM.
- Les leviers du plus haut niveau sont retirés de la matrice d'accessibilité finale et cette étape est répétée jusqu'à ce que tous les leviers d'amélioration soient traités.
- Étape 6 : En se basant sur les niveaux identifiés à l'étape 5, les leviers du niveau supérieur (premier niveau) sont placés au niveau supérieur du graphe d'antériorité et les leviers du niveau suivant sont placés au-dessous. Cette étape est répétée jusqu'à ce que tous les leviers d'amélioration soient traités. Ensuite, les liens entre les leviers sont indiqués par des flèches en suivant les résultats de la matrice finale d'accessibilité.
- Étape 7 : Supprimer les liens de transitivité entre les leviers d'amélioration dans graphe d'antériorité en suivant la même logique proposée à l'étape 4.
- Étape 8 : Après la vérification de la cohérence conceptuelle dans le graphe d'antériorité, les interdépendances entre les leviers d'amélioration sont alors déterminées.

3.4.6 Déterminer la capacité d'influence et la dépendance des leviers d'amélioration

L'objectif de cette étape est de classer les leviers d'amélioration en fonction de leurs capacités d'influence et de dépendance. Pour cela, la méthode ISM propose une suite d'analyse en utilisant la méthode de multiplication matricielle appliquée à un classement (MICMAC).

La méthode MICMAC a été développée par Duperrin et Godet (1974) et utilise les résultats de la méthode ISM pour identifier la capacité d'influence et la dépendance de chaque levier d'amélioration.

La méthode MICMAC conventionnelle est utilisée avec des variables binaires (0 ou 1) pour déterminer l'existence ou non d'une relation entre deux facteurs, mais ne permet en aucun cas de définir la force de la relation entre les facteurs. Afin d'améliorer l'analyse des relations entre les

facteurs, la possibilité de déterminer la force de la relation est introduite en utilisant la logique floue (Bhosale & Kant, 2016).

La figure 3.5 montre la méthodologie suivie dans la détermination des capacités d'influence et de dépendance des leviers d'amélioration.

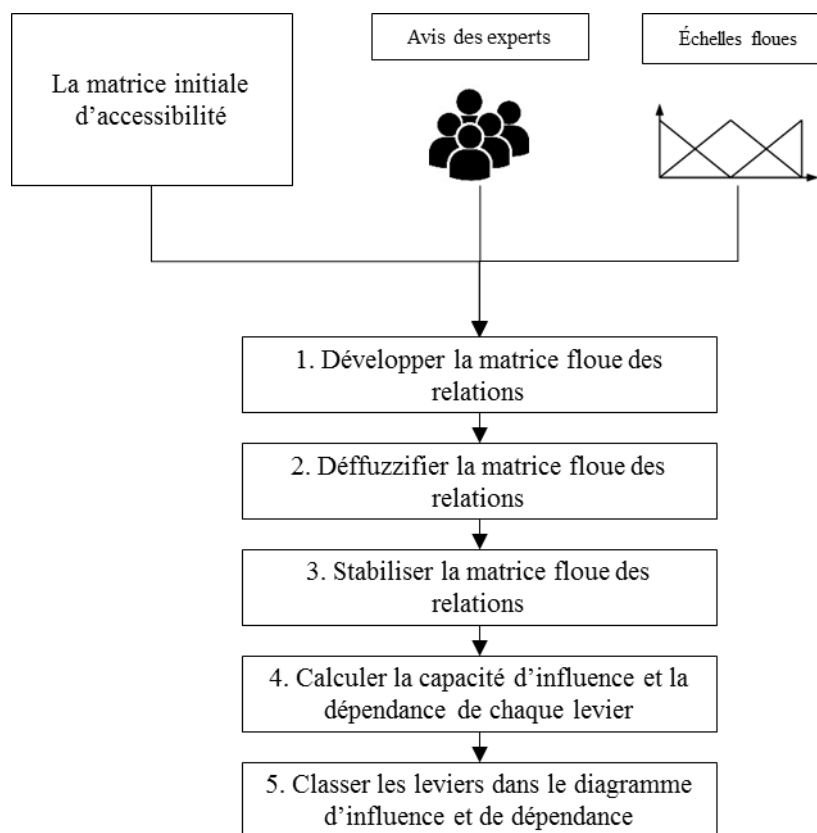


Figure 3.5 : Méthode de détermination des capacités d'influence et de dépendance

En considérant la matrice initiale d'accessibilité développée avec la méthode ISM, les étapes de la méthode MICMAC suivies pour déterminer les capacités d'influence et de dépendance des leviers d'amélioration sont les suivants :

3.4.6.1 Étape 1 : Développer la matrice floue des relations

À partir de la matrice initiale développée avec la méthode ISM, une première matrice binaire est développée en convertissant les valeurs diagonales à zéro. Ensuite, les valeurs unitaires de cette matrice sont remplacées dans la matrice floue des relations par la variable linguistique qui représente la force de la relation entre les deux leviers d'amélioration en utilisant l'échelle d'évaluation de la force de relation présentée au tableau 3.8.

3.4.6.2 Étape 2 : Défuzzifier la matrice floue des relations

Dans cette étape, la matrice des relations est déterminée en convertissant les valeurs floues en nombre réel en utilisant la méthode de défuzzification par centre de gravité.

Pour une variable linguistique triangulaire $A(a, b, c)$, alors la valeur numérique COG_x correspondante est donnée par l'éq. (25).

$$COG_x = (a + b + c) / 3 \quad (25)$$

3.4.6.3 Étape 3 : Stabiliser la matrice des relations

Dans cette étape, la matrice des relations est multipliée à plusieurs reprises jusqu'à ce que les niveaux des capacités d'influence et de dépendance se stabilisent (les valeurs restent inchangées même si on continue de la multiplier par elle-même).

Les niveaux de capacités d'influence et de dépendance d'un levier d'amélioration représentent respectivement la somme de sa ligne et la somme de sa colonne dans la matrice floue.

Pour une matrice $M = [m_{ij}]; i, j \in [1, \dots, n]$, la capacité d'influence $CA(L_s)$ et la capacité de dépendance $CD(L_s)$ d'un levier d'amélioration $L_s; s \in [1, \dots, n]$ sont données respectivement dans les éqs. (26) et (27).

$$CA(L_s) = \sum_j m_{sj} \quad (26)$$

$$CD(L_s) = \sum_i m_{is} \quad (27)$$

Selon la théorie des ensembles flous, le produit de deux matrices floues est aussi une matrice floue. La règle de produit utilisée suit le processus de multiplication des matrices floues proposé par Kandasamy, Smarandache et Ilanthenral (2007) et est donnée dans l'éq. (28).

$$A \cdot B = \max_k (\min(a_{ik}, b_{kj})) \quad (28)$$

Avec $A = [a_{ik}]$ et $B = [b_{kj}]$

3.4.6.4 Étape 4 : Calculer les capacités d'influence et de dépendance

Soit $M^* = [m_{ij}]; i, j \in [1, \dots, n]$, la matrice stabilisée des relations, la capacité d'influence $CA(L_s)$ et la capacité de dépendance $CD(L_s)$ d'un levier d'amélioration $L_s; s \in [1, \dots, n]$ sont calculés respectivement par les éqs. (26) et (27).

3.4.6.5 Étape 5 : Développer le diagramme d'influence et de dépendance

Chaque levier d'amélioration L_s est placé dans le diagramme d'influence et de dépendance où l'axe des abscisses représente sa capacité de dépendance $CD(L_s)$ et l'axe des ordonnées représente sa capacité d'influence $CA(L_s)$.

Une fois que tous les leviers d'amélioration sont placés, le diagramme est divisé en 4 zones d'axes égales, l'objectif est de catégoriser les leviers entre eux pour déterminer ceux qui sont :

- des leviers autonomes : faible capacité d'influence et faible capacité de dépendance ;
- des leviers dépendants : faible capacité d'influence et forte capacité de dépendance ;
- des leviers liés : forte capacité d'influence et forte capacité de dépendance ; et
- des leviers indépendants : forte capacité d'influence et faible capacité de dépendance.

3.5 L'étape « Développer »

3.5.1 Déterminer les leviers d'amélioration à prioriser

En utilisant les résultats des contributions des leviers d'amélioration, leurs interdépendances ainsi que leurs capacités d'influence et de dépendance, l'équipe d'amélioration détermine les leviers critiques d'amélioration de l'agilité et développe des méthodes et des stratégies adaptées au niveau des changements dans l'environnement industriel.

Tout d'abord, les leviers d'améliorations sont classés selon leurs contributions en utilisant l'indice (ICL_s), leurs capacités d'influence en utilisant l'indice $CA(L_s)$ et leurs capacités de dépendance en utilisant l'indice $CD(L_s)$. Ensuite les leviers qui contribuent le moins au niveau de l'agilité initialement évaluée, qui ont une grande capacité d'influence et qui ont une faible dépendance aux autres leviers d'amélioration doivent être priorisés dans lors du cycle d'amélioration.

3.5.2 Développer les solutions d'améliorations

Pour chacun des leviers d'amélioration sélectionnés, l'équipe de transformation documente la cause du problème et développe une solution d'amélioration. Ensuite un indice de performance de la solution proposée est déterminé pour l'étape de contrôle. Le développement de la solution n'est

pas réalisé par l'équipe de transformation, mais formule un cahier des charges pour les équipes spécialisées.

3.6 L'étape « Contrôler »

3.6.1 Contrôler l'impact des améliorations sur la performance de la chaîne logistique

Dans cette phase, la « nouvelle » gestion est comparée à la gestion « traditionnelle » lorsqu'un événement inattendu apparaît. Cela peut se faire par simulation (ex. simuler la performance de la solution développée par rapport à la solution existante dans le contexte industriel) ou la solution peut directement répondre à un problème déjà existant (nous n'avons pas besoin de contrôler l'impact de cette solution dans ce cas, puisqu'aucune solution n'a été utilisée auparavant). Pour cela, divers indices clés de performance sont utilisés en fonction de la solution proposée pour améliorer le levier d'amélioration (ex. le coût de la stratégie et le taux de satisfaction des clients pour les stratégies d'approvisionnement et de livraison). Le niveau d'agilité de la chaîne logistique est recalculé après le développement des solutions d'améliorations.

3.7 L'étape « Agir »

3.7.1 Synthétiser les meilleures pratiques

Dans cette phase, l'équipe d'amélioration documente les événements inattendus, les stratégies utilisées, les leçons apprises et les connaissances acquises. Si les résultats des solutions développées sont satisfaisants, l'équipe partage les meilleures pratiques avec les autres départements. Sinon, les solutions développées sont modifiées pour s'adapter aux changements perçus.

3.8 Discussion et conclusion

Avec la concurrence actuelle et le développement technologique, il est très important d'avoir une organisation optimale de la chaîne logistique pour répondre aux besoins grandissants des clients à travers l'utilisation des stratégies, des technologies, et des systèmes agiles avec les compétences humaines appropriées.

Ce chapitre décrit l'élaboration d'une méthodologie structurée d'amélioration de l'agilité dans la chaîne logistique en utilisant la démarche d'amélioration des processus PDCA.

Les quatre étapes du cycle PDCA sont :

1. L'étape de planification qui consiste en :
 - L'évaluation de l'agilité en utilisant l'approche d'aide à la décision QFD (Chan & Wu, 2002) pour relier les facteurs-conducteurs sélectionnés aux objectifs de l'agilité et traduire les objectifs de l'agilité en leviers d'amélioration en utilisant des termes linguistiques dans l'évaluation, ce qui permet de faire face au caractère incertain et imprécis lors de l'évaluation. Et pour synthétiser les résultats des évaluateurs, une approche d'agrégation des réponses est développée pour calculer un indice d'agilité puis l'associer à un niveau d'agilité en utilisant la méthode d'association par la distance euclidienne.
 - La détermination des relations entre les leviers d'amélioration. Pour cela, nous utilisons la méthode de modélisation structurelle interprétative (ISM).
 - Le classement des leviers d'amélioration en fonction de leurs capacités d'influence et de dépendance. Pour cela, nous utilisons la méthode de multiplication matricielle appliquée à un classement (MICMAC) enrichie par l'intégration de la force de la relation en utilisant la logique floue.
2. L'étape de détermination des leviers d'amélioration à prioriser en analysant les résultats de la phase précédente et le développement des solutions d'améliorations associés aux leviers d'amélioration sélectionnés.
3. L'étape de contrôle de l'impact des solutions développées sur la performance de la chaîne logistique.
4. La dernière étape de synthèse des meilleures pratiques.

La méthode développée présente plusieurs intérêts :

- Elle présente les facteurs-conducteurs, les objectifs et les leviers d'amélioration de l'agilité dans toutes les dimensions de la chaîne logistique,

- Elle peut être considérée comme un référentiel pratique d'évaluation de l'agilité de la chaîne logistique en mettant en relation les facteurs-conducteurs, les objectifs et les leviers d'amélioration, ce qui permet de guider l'industriel dans le choix des initiatives d'amélioration appropriées.
- Elle présente une méthodologie de classement des meilleures pratiques de l'agilité de la chaîne logistique,
- Elle peut être considérée comme un référentiel pratique de synthèse des meilleures pratiques de l'agilité selon les facteurs-conducteurs de l'agilité, ce qui permet de guider l'industriel dans le choix des initiatives d'amélioration appropriées.

La méthodologie d'amélioration comporte certaines limites théoriques et pratiques :

- Elle ne permet pas de déterminer les jugements biaisés des évaluateurs, mais nous assistons les évaluateurs dans leurs jugements.
- Elle ne permet pas de valider la consistance des résultats avant le calcul de l'indice d'agilité, mais la présence du responsable du projet d'amélioration lors des entretiens semi-dirigés avec les évaluateurs permet de garder les résultats dans la même logique.
- Elle ne permet pas d'attribuer une pondération à chaque évaluateur en fonction de son expertise et son expérience puisque nous considérons que tous les évaluateurs ont la même connaissance du sujet.

CHAPITRE 4 ÉTUDE DE CAS

4.1 Introduction

Pour démontrer la faisabilité de la méthodologie proposée, cette section présente une évaluation de l'agilité de la chaîne logistique d'une entreprise canadienne aéronautique.

L'étude de cas est réalisée dans une entreprise que nous nommons ABC.

L'entreprise ABC souhaite transformer ses processus pour faire face à une dynamique concurrentielle de plus en plus forte pour un de leurs produits phares. Pour cela, nous utiliserons la méthodologie développée et nous présenterons les résultats obtenus.

La méthodologie a été codée entièrement sous VBA - Excel. Notre code contient 4 modules, un module pour la résolution des éqs. (29) à (31) par l'approche de programmation fractionnée, un module pour le calcul des moyennes floues, un module pour le calcul des distances euclidiennes et un module pour la multiplication matricielle. Le solveur « Évolutionnaire pour les problèmes complexes » d'Excel a été utilisé dans le module de calcul par l'approche de programmation fractionnée.

Ce chapitre est organisé comme suit, La section 4.2 présente les différentes étapes en amont de la méthodologie. Les sections 4.3 à 4.6 présentent respectivement le résultat de chacune des 4 étapes de la méthodologie (planifier, développer, contrôler et agir). Finalement, une discussion et une conclusion sont présentées à la section 4.7.

4.2 Étapes en amont

4.2.1 Créer l'équipe de transformation

L'équipe d'évaluateurs se compose d'un responsable du projet d'amélioration et les trois membres de l'équipe d'évaluateurs sont 3 personnes responsables de définir des stratégies pour faire face aux changements internes et externes. Le premier membre est relié à l'approvisionnement, le deuxième membre est responsable de la production interne de l'usine et le troisième membre est responsable de la livraison du produit final.

Au fur et à mesure de l'avancement du projet, plusieurs chargés de projet d'amélioration continue et d'analyste intervenaient ponctuellement lorsque l'équipe avait besoin de données ou pour avoir plus de détail sur un problème précis.

4.2.2 Analyser la base de connaissance

Afin d'analyser les facteurs-conducteurs au tableau 3.1, les objectifs au tableau 3.2 et les leviers d'amélioration de l'agilité au tableau 3.3, le responsable a d'abord invité les membres de l'équipe d'évaluateurs à une séance d'information pour expliquer la méthodologie dans sa globalité et communiquer l'objectif global. Ensuite, une première présentation des différents facteurs a été effectuée. Cela a permis à l'équipe d'évaluateurs de prendre connaissance des aspects de l'agilité et d'aller recueillir le maximum d'informations sur les différents aspects de la base de connaissance.

Trois autres réunions ont été organisées pour discuter des aspects du cadre d'analyse et le responsable du projet d'amélioration clarifiait les aspects qui présentaient des similarités ou une contradiction dans la compréhension par les membres de l'équipe des évaluateurs.

4.2.3 Les échelles floues

Les échelles floues utilisées sont présentées dans les tableaux 3.4 à 3.8. Le tableau 3.4 présente l'échelle d'évaluation des niveaux de changement, le tableau 3.5 présente l'échelle d'évaluation des relations, le tableau 3.6 présente l'échelle d'évaluation de la performance des leviers d'amélioration, l'échelle 3.7 présente l'échelle d'évaluation du niveau d'agilité et l'échelle 3.8 présente l'échelle d'évaluation de la force de relation entre les leviers d'amélioration.

4.3 L'étape « Planifier »

4.3.1 Sélectionner les facteurs-conducteurs de l'agilité

En utilisant des données et des informations liées aux changements dans l'environnement industriel et après une série d'activités de discussion, 12 facteurs-conducteurs ont été sélectionnés. À la suite des discussions, l'équipe de transformation a décidé de détailler davantage 2 objectifs (flexibilité et réactivité), la flexibilité en flexibilité d'approvisionnement, flexibilité de production et flexibilité de livraison. La réactivité a été divisée en deux aspects, vigilance et rapidité. Les facteurs-

conducteurs sélectionnés et l'ensemble des objectifs et des leviers d'amélioration sont groupés dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Facteurs utilisés dans la méthodologie d'amélioration de l'agilité

Facteurs-conducteurs	Objectifs	Leviers d'amélioration
C_1 : Changements de la technologie (produit, processus, IT)	O_1 : Flexibilité d'approvisionnement	L_1 : Stratégies de gestion des approvisionnements (GA)
C_2 : L'introduction de nouvelles technologies	O_2 : Flexibilité de livraison	L_2 : Stratégies de gestion de la demande (GD)
C_3 : Variation de la demande des clients en termes de volume	O_3 : flexibilité de production	L_3 : Stratégies de gestion de la production (GP)
C_4 : Variation du délai de livraison	O_4 : Vigilance	L_4 : Stratégies de gestion de l'organisation et de l'information (GOI)
C_5 : Les changements des régulations internationales	O_5 : Rapidité	L_5 : la technologie de l'information et de la communication (TIC)
C_6 : Les fusions et acquisitions	O_6 : Robustesse	L_6 : les systèmes de conception et de fabrication
C_7 : Les changements des contrats sociaux	O_7 : Résilience	L_7 : les systèmes de planification et de contrôle
C_8 : La croissance du marché	O_8 : Innovation	L_8 : Les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données.
C_9 : Variation de la qualité des produits approvisionnés	O_9 : Adaptabilité	L_9 : Le partage du savoir-faire
C_{10} : Variation du volume des produits approvisionnés		L_{10} : L'intégration des compétences
C_{11} : Variation des délais d'approvisionnement		L_{11} : La formation et l'éducation des employés
C_{12} : Changements dans la disponibilité des fournisseurs		L_{12} : Amélioration de la culture d'entreprise (culture au changement)

4.3.2 Évaluer l'agilité de la chaîne logistique

4.3.2.1 Évaluer le besoin d'agilité

Dans le but de faciliter la collecte de données de chaque membre de l'équipe d'évaluation lors des entretiens semi-dirigés avec le responsable du projet d'amélioration, nous utilisons le formulaire d'évaluation de l'agilité présenté dans l'annexe B. Ce formulaire est composé de questions larges basées sur les aspects développés dans le cadre d'analyse de l'agilité proposé dans le deuxième

chapitre. Ce formulaire sert d'un côté, à guider le responsable du projet dans ses entretiens semi-dirigés avec chaque membre de l'équipe de transformation et d'un autre côté, à collecter leurs résultats d'évaluation du besoin de l'agilité et de la performance des leviers d'amélioration. Ce formulaire a été testé d'abord dans le cadre d'une étude de cas présentée par le responsable du projet avant d'être administré aux membres de l'équipe d'évaluation.

Nous présentons dans les étapes suivantes les résultats d'évaluation de l'agilité de la chaîne logistique d'un seul évaluateur, les résultats des 2 autres évaluateurs est présenté dans l'annexe C.

4.3.2.1.1 Étape 1 : Évaluer le degré de changement des facteurs-conducteurs

En utilisant la section 2.1 du questionnaire en annexe B, le 1^{er} évaluateur (E_1) a associé un degré de changement en valeurs linguistiques pour chacun des facteurs-conducteurs C_j choisis et en utilisant le tableau 3.4, les valeurs linguistiques et leur fonction d'appartenance w_j^1 associée sont groupés dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Degré de changement des facteurs-conducteurs par l'évaluateur E_1

Les facteurs-conducteurs	Niveaux des changements	Fonction d'appartenance w_j^1
C_1	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_2	B	(0,2; 0,35; 0,5)
C_3	EH	(0,85; 0,95; 1)
C_4	TH	(0,7; 0,8; 0,9)
C_5	B	(0,2; 0,35; 0,5)
C_6	B	(0,2; 0,35; 0,5)
C_7	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_8	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_9	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_{10}	H	(0,5; 0,65; 0,8)
C_{11}	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_{12}	M	(0,3; 0,5; 0,7)

4.3.2.1.2 Étape 2 : Évaluer l'impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs

En utilisant la section 2.2 du questionnaire en annexe B, le 1^{er} évaluateur (E_1) a associé un niveau d'influence en valeurs linguistiques de chaque objectif O_r sur chaque facteur-conducteur C_j . Par

exemple l'objectif O_1 « Flexibilité d'approvisionnement » a un très haut impact sur le facteur-conducteur C_3 « Variation de la demande des clients en termes de volume ». Les résultats sont présentés dans le tableau 4.3 et en utilisant le tableau 3.5, les fonctions d'appartenance i_{jr}^1 associées aux valeurs linguistiques de l'impact de chaque objectif O_r sur chaque facteur-conducteur C_j sont groupées dans le tableau 4.4.

Tableau 4.3 : Impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs par l'évaluateur E_1

	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	O_8	O_9
C_1	TB	TB	M	TH	H	B	TB	TH	H
C_2	TB	TB	M	TH	H	B	TB	TH	M
C_3	TH	M	H	TH	M	H	TB	TB	M
C_4	H	TH	TH	TH	M	H	TB	TB	M
C_5	M	B	H	H	H	M	H	M	M
C_6	M	B	TB	H	H	M	TH	H	M
C_7	B	TB	H	M	M	M	TB	M	H
C_8	H	TH	TH	TH	TH	TH	B	H	M
C_9	TH	M	M	H	TH	M	M	H	M
C_{10}	TH	M	M	M	H	M	H	B	M
C_{11}	TH	M	M	TH	H	M	H	M	B
C_{12}	TH	M	M	TH	TH	M	TH	B	B

Tableau 4.4 : Fonctions d'appartenance de l'impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs

I^1	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	O_8	O_9
C_1	(0; 0,1; 0,2)	(0; 0,1; 0,2)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,8; 0,9; 1)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,1; 0,25; 0,4)	(0; 0,1; 0,2)	(0,8; 0,9; 1)	(0,6; 0,75; 0,9)
C_2	(0; 0,1; 0,2)	(0; 0,1; 0,2)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,8; 0,9; 1)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,1; 0,25; 0,4)	(0; 0,1; 0,2)	(0,8; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)
C_3	(0,8; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,8; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0; 0,1; 0,2)	(0; 0,1; 0,2)	(0,3; 0,5; 0,7)
C_4	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,8; 0,9; 1)	(0,8; 0,9; 1)	(0,8; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0; 0,1; 0,2)	(0; 0,1; 0,2)	(0,3; 0,5; 0,7)
C_5	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,25; 0,4)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)
C_6	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,25; 0,4)	(0; 0,1; 0,2)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,8; 0,9; 1)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)
C_7	(0,1; 0,25; 0,4)	(0; 0,1; 0,2)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0; 0,1; 0,2)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,6; 0,75; 0,9)
C_8	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,8; 0,9; 1)	(0,8; 0,9; 1)	(0,8; 0,9; 1)	(0,8; 0,9; 1)	(0,8; 0,9; 1)	(0,1; 0,25; 0,4)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)
C_9	(0,8; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,8; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)
C_{10}	(0,8; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,1; 0,25; 0,4)	(0,3; 0,5; 0,7)
C_{11}	(0,8; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,8; 0,9; 1)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,6; 0,75; 0,9)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,1; 0,25; 0,4)
C_{12}	(0,8; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,8; 0,9; 1)	(0,8; 0,9; 1)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,8; 0,9; 1)	(0,1; 0,25; 0,4)	(0,1; 0,25; 0,4)

4.3.2.1.3 Étape 3 : Déterminer l'importance des objectifs par rapport à l'ensemble des facteurs-conducteurs

Pour déterminer l'importance de chaque objectif par rapport à l'ensemble des facteurs-conducteurs, prenons par exemple l'objectif O_3 , l'importance de cet objectif par rapport à l'ensemble des facteurs-conducteurs est donnée par l'éq. (29)

$$u_3^1 = \frac{\sum_{j=1}^l w_j^1 \otimes i_{j3}^1}{\sum_{j=1}^l w_j^1} \quad (29)$$

Pour résoudre l'éq. (29), il faut déterminer les limites inférieures et supérieures de la coupe α de u_3^1 en utilisant les éqs. (30) et (31)

En posant $t = \frac{1}{\sum_{j=1}^l w_j^1}$ et $T_j = t \otimes w_j^1$

$$(u_3^1)_\alpha^L = \min u_3^1 = \sum_{j=1}^l T_j \otimes (i_{j3}^1)_\alpha^L \quad (30)$$

$$\text{s.c.} \quad t \otimes (w_j^1)_\alpha^L \leq T_j \leq t \otimes (w_j^1)_\alpha^U, \quad j = 1, \dots, l$$

$$\sum_{j=1}^l T_j = 1$$

$$(u_3^1)_\alpha^U = \max u_3^1 = \sum_{j=1}^l T_j \otimes (i_{j3}^1)_\alpha^U \quad (31)$$

$$\text{s.c.} \quad t \otimes (w_j^1)_\alpha^L \leq T_j \leq t \otimes (w_j^1)_\alpha^U, \quad j = 1, \dots, l$$

$$\sum_{j=1}^l T_j = 1$$

Pour résoudre les éqs. (30) et (31), il faut déterminer les limites inférieures et supérieures de la coupe α des fonctions d'appartenance w_j^1 et i_{j3}^1 . Ces fonctions sont présentées dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5 : Limites inférieures et supérieurs de la coupe α des fonctions d'appartenance w_j^1 et i_{j3}^1

j	w_j^1	$(w_j^1)_\alpha^L$	$(w_j^1)_\alpha^U$	i_{j3}^1	$(i_{j3}^1)_\alpha^L$	$(i_{j3}^1)_\alpha^U$
1	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$
2	(0.2; 0.35; 0.5)	$0.2+0.15*\alpha$	$0.5-0.15*\alpha$	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$
3	(0.85; 0.95; 1)	$0.85+0.1*\alpha$	$1-0.05*\alpha$	(0.6; 0.75; 0.9)	$0.6+0.15*\alpha$	$0.9-0.15*\alpha$
4	(0.7; 0.8; 0.9)	$0.7+0.1*\alpha$	$0.9-0.1*\alpha$	(0.8; 0.9; 1)	$0.8+0.1*\alpha$	$1-0.1*\alpha$
5	(0.2; 0.35; 0.5)	$0.2+0.15*\alpha$	$0.5-0.15*\alpha$	(0.6; 0.75; 0.9)	$0.6+0.15*\alpha$	$0.9-0.15*\alpha$
6	(0.2; 0.35; 0.5)	$0.2+0.15*\alpha$	$0.5-0.15*\alpha$	(0; 0.1; 0.2)	$0.1*\alpha$	$0.2-0.1*\alpha$
7	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$	(0.6; 0.75; 0.9)	$0.6+0.15*\alpha$	$0.9-0.15*\alpha$
8	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$	(0.8; 0.9; 1)	$0.8+0.1*\alpha$	$1-0.1*\alpha$
9	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$
10	(0.5; 0.65; 0.8)	$0.5+0.65*\alpha$	$0.8-0.15*\alpha$	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$
11	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$
12	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$	(0.3; 0.5; 0.7)	$0.3+0.2*\alpha$	$0.7-0.2*\alpha$

Pour chaque valeur de α comprise entre 0 et 1, nous utilisons le solveur « Évolutionnaire pour les problèmes complexes » d'Excel pour résoudre les équations. Nous présentons les résultats des limites inférieures et supérieurs de la coupe α de u_3^1 dans le tableau 4.6.

Tableau 4.6 : Résultats des limites inférieures et supérieurs de la coupe α de u_3^1

α	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$(u_3^1)_\alpha^L$	0,40	0,43	0,45	0,48	0,5	0,52	0,54	0,56	0,59	0,6	0,62
$(u_3^1)_\alpha^U$	0.83	0.82	0.8	0.78	0.76	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.62

De la même façon, l'importance de chaque objectif par rapport à l'ensemble des facteurs-conducteurs est calculée et présentée dans le tableau 4.7.

Tableau 4.7 : Importance de chaque objectif par rapport à tous les facteurs-conducteurs

L'objectif O_r	L'importance de l'objectif u_r^1
O_1	(0,45; 0,67; 0,87)
O_2	(0,25; 0,46; 0,69)
O_3	(0,4; 0,62; 0,83)
O_4	(0,62; 0,8; 0,95)
O_5	(0,48; 0,69; 0,87)
O_6	(0,34; 0,56; 0,78)
O_7	(0,18; 0,39; 0,62)
O_8	(0,23; 0,45; 0,66)
O_9	(0,28; 0,5; 0,71)

4.3.2.1.4 Étape 4 : Évaluer l'impact des leviers d'amélioration sur les objectifs

En utilisant la section 2.3 du questionnaire en annexe B, le 1^{er} évaluateur (E_1) a associé un niveau d'influence en valeurs linguistiques de chaque levier d'amélioration L_s sur chaque objectif O_r . Par exemple le levier d'amélioration L_1 « Stratégie de gestion des approvisionnements » a un très haut impact sur l'objectif O_3 « Flexibilité d'approvisionnement ». Les résultats sont présentés dans le tableau 4.8.

Tableau 4.8 : Impact des leviers d'amélioration sur les objectifs par l'évaluateur E_1

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}
O_1	TH	M	M	TH	H	TB	M	M	B	B	B	H
O_2	H	TH	M	TH	H	TB	M	H	B	B	B	B
O_3	M	TH	TH	TH	H	TB	M	M	B	B	B	B
O_4	H	H	H	TH	TH	TB	TH	TH	M	M	M	M
O_5	H	H	H	TH	TH	TB	TH	M	M	M	M	M
O_6	M	M	M	M	M	H	H	H	M	M	M	M
O_7	TH	TH	TH	TH	TH	TB	TB	B	B	B	B	B
O_8	B	B	B	H	H	H	TH	TH	TH	TH	TH	TH
O_9	H	H	H	TH	TH	M	M	H	M	H	H	TH

4.3.2.1.5 Étape 5 : Déterminer l'importance des leviers d'amélioration par rapport à l'ensemble des objectifs

En utilisant les éqs. (29) à (31), l'importance de chaque levier d'amélioration L_s par rapport à tous les objectifs est calculée et présentée dans le tableau 4.9.

Tableau 4.9 : Importance de chaque levier d'amélioration par rapport à tous les objectifs

Levier d'amélioration L_s	Fonction d'appartenance de l'importance du levier d'amélioration v_s^1
L_1	(0,44; 0,67; 0,87)
L_2	(0,45; 0,69; 0,88)
L_3	(0,41; 0,65; 0,86)
L_4	(0,67; 0,84; 0,97)
L_5	(0,61; 0,79; 0,95)
L_6	(0,07; 0,26; 0,5)
L_7	(0,4; 0,64; 0,86)
L_8	(0,41; 0,65; 0,86)
L_9	(0,2; 0,43; 0,66)
L_{10}	(0,21; 0,45; 0,69)
L_{11}	(0,21; 0,45; 0,69)
L_{12}	(0,29; 0,53; 0,77)

4.3.2.2 Évaluer la performance des leviers d'amélioration

En utilisant la section 3 du questionnaire en annexe B, le 1^{er} évaluateur (E_1) associe un état en valeurs linguistiques représentant la performance réelle de chaque levier d'amélioration L_s pour faire face aux facteurs-conducteurs sélectionnés et en utilisant le tableau 3.6, les valeurs linguistiques et leur fonction d'appartenance g_j^1 associée sont groupés dans le tableau 4.10.

Tableau 4.10 : Performance des leviers d'amélioration

Levier d'amélioration L_s	Performance	fonction d'appartenance g_j^1
L_1	P	(0; 0,05; 0,15)
L_2	P	(0; 0,05; 0,15)
L_3	TB	(0,7; 0,8; 0,9)
L_4	J	(0,3; 0,5; 0,7)
L_5	J	(0,3; 0,5; 0,7)
L_6	E	(0,85; 0,95; 1)
L_7	E	(0,85; 0,95; 1)
L_8	TM	(0,1; 0,2; 0,3)
L_9	M	(0,2; 0,35; 0,5)
L_{10}	J	(0,3; 0,5; 0,7)
L_{11}	M	(0,2; 0,35; 0,5)
L_{12}	M	(0,2; 0,35; 0,5)

4.3.2.3 Agréger les résultats de tous les évaluateurs

Une fois que les évaluateurs ont terminé les étapes précédentes d'évaluation de l'agilité, les éqs. (15) et (16) sont utilisées respectivement pour calculer l'importance relative moyenne v_s et la performance moyenne g_s du levier d'amélioration L_s

Les résultats sont présentés dans les tableaux 4.11 et 4.12.

Tableau 4.11 : Importance relative moyenne des leviers d'amélioration

L_s	v_s^1	v_s^2	v_s^3	v_s
L_1	(0,44; 0,67; 0,87)	(0,45; 0,67; 0,87)	(0,44; 0,67; 0,87)	(0,44; 0,67; 0,87)
L_2	(0,45; 0,69; 0,88)	(0,45; 0,68; 0,88)	(0,44; 0,66; 0,86)	(0,44; 0,67; 0,87)
L_3	(0,41; 0,65; 0,86)	(0,41; 0,65; 0,86)	(0,44; 0,67; 0,88)	(0,42; 0,65; 0,86)
L_4	(0,67; 0,84; 0,97)	(0,67; 0,84; 0,97)	(0,62; 0,8; 0,95)	(0,65; 0,82; 0,96)
L_5	(0,61; 0,79; 0,95)	(0,61; 0,79; 0,95)	(0,61; 0,78; 0,94)	(0,61; 0,78; 0,94)
L_6	(0,07; 0,26; 0,5)	(0,07; 0,26; 0,49)	(0,09; 0,28; 0,5)	(0,07; 0,26; 0,49)
L_7	(0,4; 0,64; 0,86)	(0,4; 0,64; 0,86)	(0,41; 0,64; 0,85)	(0,4; 0,64; 0,85)
L_8	(0,41; 0,65; 0,86)	(0,41; 0,65; 0,86)	(0,41; 0,64; 0,85)	(0,41; 0,64; 0,85)
L_9	(0,2; 0,43; 0,66)	(0,2; 0,43; 0,66)	(0,22; 0,45; 0,67)	(0,2; 0,43; 0,66)
L_{10}	(0,21; 0,45; 0,69)	(0,22; 0,45; 0,69)	(0,21; 0,45; 0,68)	(0,21; 0,45; 0,68)
L_{11}	(0,21; 0,45; 0,69)	(0,22; 0,45; 0,69)	(0,21; 0,45; 0,68)	(0,21; 0,45; 0,68)
L_{12}	(0,29; 0,53; 0,77)	(0,29; 0,53; 0,77)	(0,29; 0,53; 0,76)	(0,29; 0,53; 0,76)

Tableau 4.12 : Performance moyenne des leviers d'amélioration

L_s	g_s^1	g_s^2	g_s^3	g_s
L_1	(0; 0,05; 0,15)	(0; 0,05; 0,15)	(0; 0,05; 0,15)	(0; 0,05; 0,15)
L_2	(0; 0,05; 0,15)	(0,1; 0,2; 0,3)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,13; 0,25; 0,38)
L_3	(0,7; 0,8; 0,9)	(0,7; 0,8; 0,9)	(0,7; 0,8; 0,9)	(0,7; 0,8; 0,9)
L_4	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)
L_5	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)
L_6	(0,85; 0,95; 1)	(0,85; 0,95; 1)	(0,7; 0,8; 0,9)	(0,8; 0,9; 0,96)
L_7	(0,85; 0,95; 1)	(0,7; 0,8; 0,9)	(0,7; 0,8; 0,9)	(0,75; 0,85; 0,93)
L_8	(0,1; 0,2; 0,3)	(0,1; 0,2; 0,3)	(0,2; 0,35; 0,5)	(0,13; 0,25; 0,36)
L_9	(0,2; 0,35; 0,5)	(0,2; 0,35; 0,5)	(0,1; 0,2; 0,3)	(0,16; 0,3; 0,43)
L_{10}	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,3; 0,5; 0,7)
L_{11}	(0,2; 0,35; 0,5)	(0,2; 0,35; 0,5)	(0,2; 0,35; 0,5)	(0,2; 0,35; 0,5)
L_{12}	(0,2; 0,35; 0,5)	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,2; 0,35; 0,5)	(0,23; 0,4; 0,56)

4.3.2.4 Calculer l'indice d'agilité

En utilisant l'éq. (17), l'indice d'agilité est calculé :

$$IA = (0,25; 0,45; 0,67)$$

4.3.2.5 Associer le résultat à un niveau d'agilité

Dans cette étape, l'indice d'agilité est associé à un niveau d'agilité (NA) selon l'échelle du tableau 3.7.

Pour calculer la distance entre l'indice d'agilité IA et les différents termes linguistiques dans l'échelle d'évaluation du niveau d'agilité (Non agile (NA), Très peu agile (TPA), Peu agile (PA), Moyennement agile (MA), Hautement agile (HA), Très agile (TA), Extrêmement agile (EA)), nous commençons par déterminer les valeurs des fonctions d'appartenance des 8 valeurs linguistiques à comparer (IA, NA, TPA, PA, MA, HA, TA et EA) en utilisant la discrétisation suivante.

$$p = [0; 0.05; 0.1; 0.15; 0.2; 0.25; 0.3; 0.35; 0.4; 0.45; 0.5; 0.55; 0.6; 0.65; 0.7; 0.75; 0.8; 0.85; 0.9; 0.95; 1]$$

Les résultats des fonctions d'appartenance sont présentés dans le tableau 4.13.

Tableau 4.13 : Valeurs des fonctions d'appartenance à comparer

p	$IA(p)$	$\mu_{NA}(p)$	$\mu_{TPA}(p)$	$\mu_{PA}(p)$	$\mu_{MA}(p)$	$\mu_{HA}(p)$	$\mu_{TA}(p)$	$\mu_{EA}(p)$
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0.05	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0.1	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0.15	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0.2	0,00	0,67	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0.25	0,00	0,33	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0.3	0,25	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0.35	0,50	0,00	0,67	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
0.4	0,75	0,00	0,33	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00
0.45	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0.5	0,77	0,00	0,00	0,67	0,33	0,00	0,00	0,00
0.55	0,55	0,00	0,00	0,33	0,67	0,00	0,00	0,00
0.6	0,32	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
0.65	0,09	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00
0.7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
0.75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00
0.8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
0.85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50
0.9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
0.95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Les distances entre IA et les différentes valeurs linguistiques de l'échelle d'évaluation du niveau d'agilité sont calculées en utilisant l'éq. (18), les résultats sont présentés ci-dessous.

$$d(IA; NA) = 2,23$$

$$d(IA; TPA) = 1,8$$

$$d(IA; PA) = 0,52$$

$$d(IA; MA) = 1,64$$

$$d(IA; HA) = 2,07$$

$$d(IA; TA) = 2,09$$

$$d(IA; EA) = 2,09$$

Ainsi, en prenant le terme linguistique de la distance minimale, la chaîne logistique peut être considérée « Peu agile ».

4.3.3 Déterminer le niveau d'agilité souhaité

Puisque la chaîne logistique du produit X se caractérise par une forte dynamique et une demande variable en produits et que l'agilité a été perçue comme la stratégie pouvant faire face à cette dynamique du marché. L'équipe de transformation s'est engagée dans un premier cycle d'amélioration à atteindre un niveau « Hautement agile » de la chaîne logistique du produit X.

4.3.4 Déterminer les contributions des leviers d'amélioration

Une fois que les évaluateurs ont déterminé le degré d'agilité, les éqs. (20) à (24) sont utilisées pour calculer le score final $U_T(ICL_s)$ représentant la contribution de chaque levier d'amélioration L_s . La liste des leviers d'amélioration utilisés dans l'évaluation de l'agilité est présentée dans le tableau 4.14.

Tableau 4.14 : Leviers d'amélioration utilisés dans l'étude de cas

Levier L_s	Désignation
L_1	Stratégies de gestion des approvisionnements (GA)
L_2	Stratégies de gestion de la demande (GD)
L_3	Stratégies de gestion de la production (GP)
L_4	Stratégies de gestion de l'organisation et de l'information (GOI)
L_5	La technologie de l'information et de la communication (TIC)
L_6	Les systèmes de conception et de fabrication
L_7	Les systèmes de planification et de contrôle
L_8	Les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données.
L_9	Le partage du savoir-faire
L_{10}	L'intégration des compétences
L_{11}	La formation et l'éducation des employés
L_{12}	L'amélioration de la culture d'entreprise (culture au changement)

Les résultats ainsi que le classement selon le degré de contribution de chaque levier d'amélioration sont présentés dans le tableau 4.15. Ce tableau présente d'abord la performance moyenne g_s de chacun des leviers d'amélioration L_s , ensuite le complément de l'importance relative des leviers

d'amélioration v_s est présenté pour calculer la contribution de chaque levier d'amélioration ICL_s en utilisant l'éq. (19). Ensuite, la méthode de classification « Left and right » est utilisée pour le calcul du score final nombre flou ICL_s en utilisant les éqs. (20) à (24). Finalement un classement des scores par ordre croissant est présenté signifiant que les leviers d'amélioration en tête de classement sont les leviers d'amélioration qui contribuent le moins à l'agilité de la chaîne logistique.

Tableau 4.15 : Classement des contributions des leviers d'amélioration

Levier L_s	Performance moyenne g_s	Complément de l'importance relative moyenne $(1; 1; 1) \ominus v_s$	Contribution ICL_s	Score final $U_T(ICL_s)$	Classement de la contribution
L_1	(0; 0,05; 0,15)	(0,13; 0,33; 0,56)	(0; 0,0165; 0,084)	0,0474603	1
L_2	(0,13; 0,25; 0,38)	(0,13; 0,33; 0,56)	(0,0169; 0,0825; 0,2128)	0,1328449	2
L_3	(0,7; 0,8; 0,9)	(0,14; 0,35; 0,58)	(0,098; 0,28; 0,522)	0,3285882	9
L_4	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,04; 0,18; 0,35)	(0,012; 0,09; 0,245)	0,1478046	4
L_5	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,06; 0,22; 0,39)	(0,018; 0,11; 0,273)	0,1677352	5
L_6	(0,8; 0,9; 0,96)	(0,51; 0,74; 0,93)	(0,408; 0,666; 0,8928)	0,6285794	12
L_7	(0,75; 0,85; 0,93)	(0,15; 0,36; 0,6)	(0,1125; 0,306; 0,558)	0,3510378	11
L_8	(0,13; 0,25; 0,36)	(0,15; 0,36; 0,59)	(0,0195; 0,09; 0,2124)	0,1366551	3
L_9	(0,16; 0,3; 0,43)	(0,34; 0,57; 0,8)	(0,0544; 0,171; 0,344)	0,2232043	6
L_{10}	(0,3; 0,5; 0,7)	(0,32; 0,55; 0,79)	(0,096; 0,275; 0,553)	0,3329779	10
L_{11}	(0,2; 0,35; 0,5)	(0,32; 0,55; 0,79)	(0,064; 0,1925; 0,395)	0,2495314	8
L_{12}	(0,23; 0,4; 0,56)	(0,24; 0,47; 0,71)	(0,0552; 0,188; 0,3976)	0,2473321	7

D'après le tableau 4.15, nous constatons que la stratégie de gestion des approvisionnements est l'aspect le plus critique qui freine l'atteinte d'un niveau plus élevé de l'agilité, ensuite la stratégie

de gestion de la demande, la stratégie de gestion de l'organisation et de l'information, les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données et les technologies de l'information et de la communication utilisés ont une faible agilité face aux changements de l'environnement industriel.

Les leviers qui ont une forte contribution à l'agilité de la chaîne logistique du produit X sont les systèmes de conception et de fabrication (L_6), les systèmes de planification et de contrôle (L_7), l'intégration des compétences (L_{10}) et la stratégie de gestion de la production (L_3).

Finalement, les leviers ayant une contribution moyenne sur l'agilité de la chaîne logistique sont le partage du savoir-faire entre les employés (L_9), les formations proposées (L_{11}) et les efforts d'amélioration de la culture de l'entreprise (L_{12}).

4.3.5 Déterminer l'interdépendance entre les leviers d'amélioration

Lors de cette étape, le responsable du projet d'amélioration a aminé un atelier pour présenter les résultats de contribution des leviers d'amélioration. Ensuite, il a présenté l'objectif de la suite de la méthodologie dans le but de déterminer les interdépendances entre les leviers d'améliorations.

4.3.5.1 Étape 1 : Déterminer les relations contextuelles entre deux leviers d'amélioration

Les relations contextuelles utilisées sont celles proposées par la méthodologie ISM. Les quatre symboles suivants ont été utilisés pour indiquer le sens de la relation entre le levier L_i et le levier L_j :

- V : Le levier L_i influence le développement du levier L_j
- A : Le développement du levier L_i est influencé par le levier L_j
- X : Les Leviers L_i et L_j s'entraident dans leur développement
- O : Aucune influence entre les leviers L_i et L_j

4.3.5.2 Étape 2 : Développer la matrice d'interaction entre les leviers d'amélioration

En utilisant la section 4 du questionnaire en annexe B, l'ensemble des évaluateurs associent une relation d'influence en valeur linguistique pour représenter l'impact du levier L_i sur le levier L_j . Le responsable du projet d'amélioration guidait les conversations jusqu'à obtention d'un accord

commun entre les membres de l'équipe d'évaluateurs. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.16.

Tableau 4.16 : Matrice d'interaction entre les leviers d'amélioration

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}
L_1		O	O	A	A	O	A	A	A	A	A	A
L_2			O	A	A	O	A	A	A	A	A	A
L_3				A	A	A	A	A	A	A	A	A
L_4					X	O	O	X	V	V	V	X
L_5						X	X	X	V	V	V	V
L_6							O	O	O	V	O	O
L_7								V	V	O	O	V
L_8									V	V	O	V
L_9										X	X	X
L_{10}											A	V
L_{11}												A
L_{12}												

4.3.5.3 Étape 3 : Développer la matrice initiale d'accessibilité

Les symboles dans la matrice d'interaction (Tableau 4.16) sont transformés en chiffres binaires dans la matrice d'accessibilité initiale selon les règles suivantes :

- Si l'image du couple (i, j) dans la matrice d'interaction est V, alors la valeur du couple (i,j) dans la matrice d'accessibilité devient 1 et la valeur du couple (j, i) devient 0.

- Si l'image du couple (i, j) dans la matrice d'interaction est A, alors la valeur du couple (i,j) dans la matrice d'accessibilité devient 0 et la valeur du couple (j, i) devient 1.
- Si l'image du couple (i, j) dans la matrice d'interaction est X, alors la valeur du couple (i,j) dans la matrice d'accessibilité devient 1 et la valeur du couple (j, i) devient 1.
- Si l'image du couple (i, j) dans la matrice d'interaction est O, alors la valeur du couple (i,j) dans la matrice d'accessibilité devient 0 et la valeur du couple (j, i) devient 0.

Les résultats de la matrice initiale d'accessibilité sont présentés dans le tableau 4.17.

Tableau 4.17 : Matrice initiale d'accessibilité

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}
L_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_4	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
L_5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L_6	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
L_7	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1
L_8	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1
L_9	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
L_{10}	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1
L_{11}	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
L_{12}	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1

4.3.5.4 Étape 4 : Corriger la matrice en utilisant la propriété de transitivité

La matrice finale d'accessibilité est développée en incluant la valeur 1* dans la matrice initiale d'accessibilité (Tableau 4.17) là où les relations de transitivité existent. Par exemple, le levier d'amélioration L_6 a une influence sur le levier d'amélioration L_5 et le levier d'amélioration L_5 a une influence sur le levier d'amélioration L_2 donc le levier d'amélioration L_6 a une influence sur le levier d'amélioration L_2 . Les résultats de la matrice finale d'accessibilité sont présentés dans le tableau 4.18.

Tableau 4.18 : Matrice finale d'accessibilité

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}
L_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_4	1	1	1	1	1	1*	1*	1	1	1	1	1
L_5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
L_6	1	1*	1	1*	1	1	0	0	0	1	0	0
L_7	1	1	1	1*	1	0	1	1	1	0	0	1
L_8	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1
L_9	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
L_{10}	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1*	1
L_{11}	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1*
L_{12}	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1

4.3.5.5 Étape 5 : Partitionner la matrice d'accessibilité en plusieurs niveaux

La matrice finale d'accessibilité (Tableau 4.18) est partitionnée en plusieurs niveaux selon le processus suivant :

- L'ensemble d'accessibilité $R(L_s)$ est déterminé pour chaque levier d'amélioration L_i .
- L'ensemble d'antériorité $A(L_s)$ est déterminé pour chaque levier d'amélioration L_i .
- L'ensemble d'intersections $R(L_s) \cap A(L_s)$ est déterminé pour chaque levier d'amélioration.
- Les leviers d'amélioration pour lesquels l'ensemble d'accessibilité $R(L_s)$ et l'ensemble d'intersections $R(L_s) \cap A(L_s)$ sont identiques constituent les éléments du niveau supérieur (premier niveau) dans la hiérarchie du graphe de la méthode ISM.
- Les leviers du plus haut niveau sont retirés de la matrice d'accessibilité finale et cette étape est répétée jusqu'à ce que tous les leviers d'amélioration soient traités.

Lors de la première itération, l'ensemble d'accessibilité et l'ensemble d'intersections des leviers L_1, L_2 et L_3 sont les leviers d'amélioration L_1, L_2 et L_3 . Donc ces leviers constituent le niveau le plus haut (niveau I) dans la hiérarchie du graphe de la méthode ISM. Ces 3 leviers seront retirés de la matrice finale d'accessibilité avant de commencer la deuxième itération.

Ce processus est complété en 5 itérations et les résultats sont présentés dans les tableaux 4.19 à 4.23

Tableau 4.19 : Itération n°1 du partitionnement de la matrice d'accessibilité

Levier L_s	L'ensemble d'accessibilité $R(L_s)$	L'ensemble des antériorités $A(L_s)$	Intersection $R(L_s) \cap A(L_s)$	Niveau
L_1	1	1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	1	I
L_2	2	2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	2	I
L_3	3	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	3	I
L_4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	4, 5, 6, 7, 8, 12	4, 5, 6, 7, 8, 12	
L_5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	4, 5, 6, 7, 8	4, 5, 6, 7, 8	
L_6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10	4, 5, 6	4, 5, 6	
L_7	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12	4, 5, 7	4, 5, 7	
L_8	1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 12	4, 5, 7, 8	4, 5, 7, 8	
L_9	1, 2, 3, 9, 10, 11, 12	4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12	9, 10, 11, 12	
L_{10}	1, 2, 3, 9, 10, 11, 12	4, 5, 6, 8, 9, 10, 11	9, 10, 11	
L_{11}	1, 2, 3, 9, 10, 11, 12	4, 5, 9, 10, 11, 12	9, 10, 11, 12	
L_{12}	1, 2, 3, 4, 9, 11, 12	4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12	4, 9, 11, 12	

Tableau 4.20 : Itération n°2 du partitionnement de la matrice d'accessibilité

Levier L_s	L'ensemble d'accessibilité $R(L_s)$	L'ensemble des antériorités $A(L_s)$	Intersection $R(L_s) \cap A(L_s)$	Niveau
L_4	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	4, 5, 6, 7, 8, 12	4, 5, 6, 7, 8, 12	
L_5	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	4, 5, 6, 7, 8	4, 5, 6, 7, 8	
L_6	4, 5, 6, 10	4, 5, 6	4, 5, 6	
L_7	4, 5, 7, 8, 9, 12	4, 5, 7	4, 5, 7	
L_8	4, 5, 8, 9, 10, 12	4, 5, 7, 8	4, 5, 7, 8	
L_9	9, 10, 11, 12	4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12	9, 10, 11, 12	II
L_{10}	9, 10, 11, 12	4, 5, 6, 8, 9, 10, 11	9, 10, 11	
L_{11}	9, 10, 11, 12	4, 5, 9, 10, 11, 12	9, 10, 11, 12	II
L_{12}	4, 9, 11, 12	4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12	4, 9, 11, 12	II

Tableau 4.21 : Itération n°3 du partitionnement de la matrice d'accessibilité

Levier L_s	L'ensemble d'accessibilité $R(L_s)$	L'ensemble des antériorités $A(L_s)$	Intersection $R(L_s) \cap A(L_s)$	Niveau
L_4	4, 5, 6, 7, 8, 10	4, 5, 6, 7, 8	4, 5, 6, 7, 8	
L_5	4, 5, 6, 7, 8, 10	4, 5, 6, 7, 8	4, 5, 6, 7, 8	
L_6	4, 5, 6, 10	4, 5, 6	4, 5, 6	
L_7	4, 5, 7, 8	4, 5, 7	4, 5, 7	
L_8	4, 5, 8, 10	4, 5, 7, 8	4, 5, 8	
L_{10}	10	4, 5, 6, 8, 10	10	III

Tableau 4.22 : Itération n°4 du partitionnement de la matrice d'accessibilité

Levier L_s	L'ensemble d'accessibilité $R(L_s)$	L'ensemble des antériorités $A(L_s)$	Intersection $R(L_s) \cap A(L_s)$	Niveau
L_4	4, 5, 6, 7, 8	4, 5, 6, 7, 8	4, 5, 6, 7, 8	IV
L_5	4, 5, 6, 7, 8	4, 5, 6, 7, 8	4, 5, 6, 7, 8	IV
L_6	4, 5, 6	4, 5, 6	4, 5, 6	IV
L_7	4, 5, 7, 8	4, 5, 7	4, 5, 7	
L_8	4, 5, 8	4, 5, 7, 8	4, 5, 8	IV

Tableau 4.23 : Itération n°5 du partitionnement de la matrice d'accessibilité

Levier L_s	L'ensemble d'accessibilité $R(L_s)$	L'ensemble des antériorités $A(L_s)$	Intersection $R(L_s) \cap A(L_s)$	Niveau
L_7	7	7	7	V

4.3.5.6 Étapes 6-8 : Déterminer les interdépendances entre les leviers d'améliorations

Le graphe d'antériorités est généré selon les niveaux établis par le partitionnement de la matrice d'accessibilité finale. Ensuite, les liens entre les leviers sont indiqués par des flèches.

En supprimant les liens représentant des relations de transitivité entre les leviers d'amélioration et en vérifiant la cohérence conceptuelle du graphe d'antériorités, les interdépendances entre les leviers d'amélioration sont présentées dans la figure 4.1.

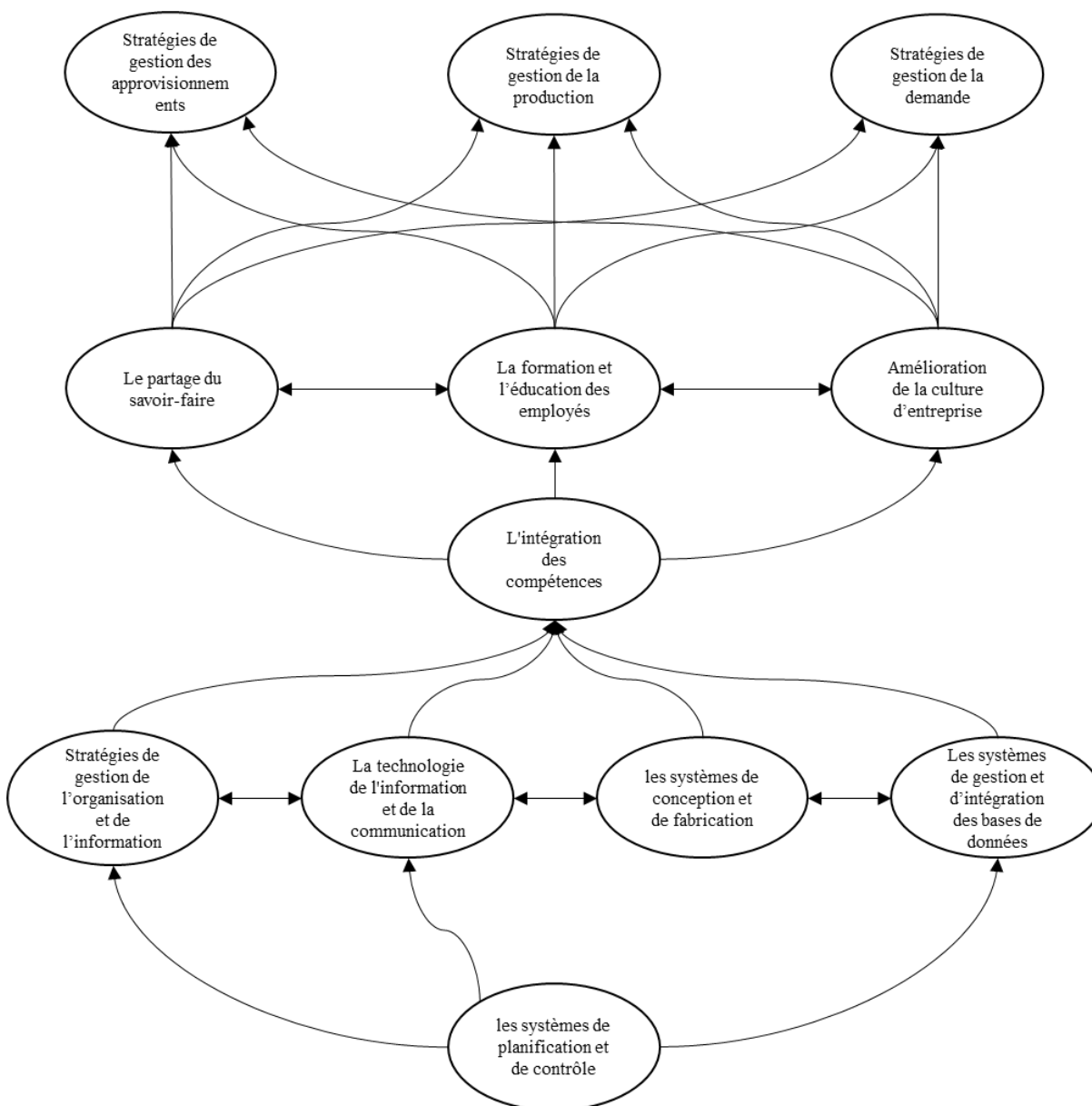


Figure 4.1 : Graphe d'antériorité entre les leviers d'amélioration

Le graphe d'antériorité montre que le système de planification et de contrôle (L_7) est le seul levier ayant une influence sur le reste des leviers, mais n'est influencé par aucun autre. Par ailleurs, la stratégie de gestion des approvisionnements (L_1), la stratégie de gestion de la demande (L_2) et la stratégie de gestion de la production (L_3) sont les trois leviers qui n'ont aucune influence sur les autres leviers bien que leurs importances dans l'atteinte de l'agilité soient élevées.

4.3.6 Déterminer la capacité d'influence et la dépendance des leviers d'amélioration

Lors de cette étape, le responsable du projet d'amélioration a aminé un deuxième atelier pour présenter les résultats des interdépendances entre les leviers d'amélioration. Ensuite, il a présenté l'objectif de la suite de la méthodologie dans le but de déterminer la capacité d'influence et la dépendance des leviers d'amélioration

4.3.6.1 Étape 1 : Développer la matrice floue des relations

En utilisant la matrice initiale d'accessibilité, l'ensemble de l'équipe des évaluateurs ont remplacé les valeurs unitaires de cette matrice par une variable linguistique représentant la force de relation entre deux leviers d'amélioration. Le responsable du projet d'amélioration guidait les conversations jusqu'à obtention d'un accord commun entre les membres de l'équipe d'évaluateurs.

Les valeurs linguistiques sont groupées dans le tableau 4.24.

Tableau 4.24 : Matrice floue des relations entre les leviers d'amélioration

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}
L_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_4	TH	H	H	0	M	0	0	B	B	TH	TH	B
L_5	TH	H	TH	TH	0	C	C	TH	H	C	TH	TB
L_6	TB	0	TH	0	TB	0	0	0	0	M	0	0
L_7	M	H	TH	0	B	0	0	B	M	0	0	TB
L_8	H	M	M	TH	H	0	0	0	TH	TH	0	TB
L_9	H	H	TH	0	0	0	0	0	0	C	H	M
L_{10}	TH	TH	TH	0	0	0	0	0	TH	0	0	M
L_{11}	H	H	TH	0	0	0	0	0	TH	C	0	0
L_{12}	H	H	TH	M	0	0	0	0	M	0	TH	0

4.3.6.2 Étape 2 : Défuzzifier la matrice floue des relations

La valeur numérique correspondante à la valeur floue dans la matrice floue des relations est déterminée en utilisant l'éq. (25). Les résultats sont présentés dans le tableau 4.25.

Tableau 4.25 : Défuzzification de la matrice floue des relations

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}
L_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_4	0.85	0.7	0.7	0	0.5	0	0	0.3	0.3	0.85	0.85	0.3
L_5	0.85	0.7	0.85	0.85	0	1	1	0.85	0.7	1	0.85	0.15
L_6	0.15	0	0.85	0	0.15	0	0	0	0	0.5	0	0
L_7	0.5	0.7	0.85	0	0.3	0	0	0.3	0.5	0	0	0.15
L_8	0.7	0.5	0.5	0.85	0.7	0	0	0	0.85	0.85	0	0.15
L_9	0.7	0.7	0.85	0	0	0	0	0	0	1	0.7	0.5
L_{10}	0.85	0.85	0.85	0	0	0	0	0	0.85	0	0	0.5
L_{11}	0.7	0.7	0.85	0	0	0	0	0	0.85	1	0	0
L_{12}	0.7	0.7	0.85	0.5	0	0	0	0	0.5	0	0.85	0

4.3.6.3 Étape 3-4 : Stabiliser la matrice floue des relations et calculer la capacité d'influence et la dépendance de chaque levier

En utilisant l'éq. (28), la matrice floue des relations atteint une stabilité après 6 itérations du processus de stabilisation et les résultats sont présentés dans le tableau 4.26.

L'éq. (26) est utilisée pour calculer la capacité d'influence d'un levier d'amélioration L_i et l'éq. (27) est utilisée pour calculer la capacité de dépendance

Tableau 4.26 : Matrice stabilisée floue des relations

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}	Capacité d'influence
L_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L_4	0,85	0,85	0,85	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,85	0,85	0,7	0,5	7,95
L_5	0,85	0,85	0,85	0,7	0,5	0,7	0,7	0,7	0,85	0,85	0,7	0,5	8,75
L_6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	6
L_7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	6
L_8	0,85	0,85	0,85	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,85	0,85	0,7	0,5	8,35
L_9	0,7	0,7	0,85	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,85	0,7	0,5	7,5
L_{10}	0,85	0,85	0,85	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,85	0,7	0,7	0,5	7,8
L_{11}	0,85	0,85	0,85	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,85	0,85	0,7	0,5	7,95
L_{12}	0,85	0,85	0,85	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,85	0,85	0,7	0,5	7,95
Dépendance	6,8	6,8	6,95	4,9	4,7	4,7	4,7	4,7	6,8	6,8	5,9	4,5	

4.3.6.4 Étape 5 : Classer les leviers dans le diagramme d'influence et de dépendance

Le diagramme d'influence et de dépendance est présenté dans la figure 4.2.

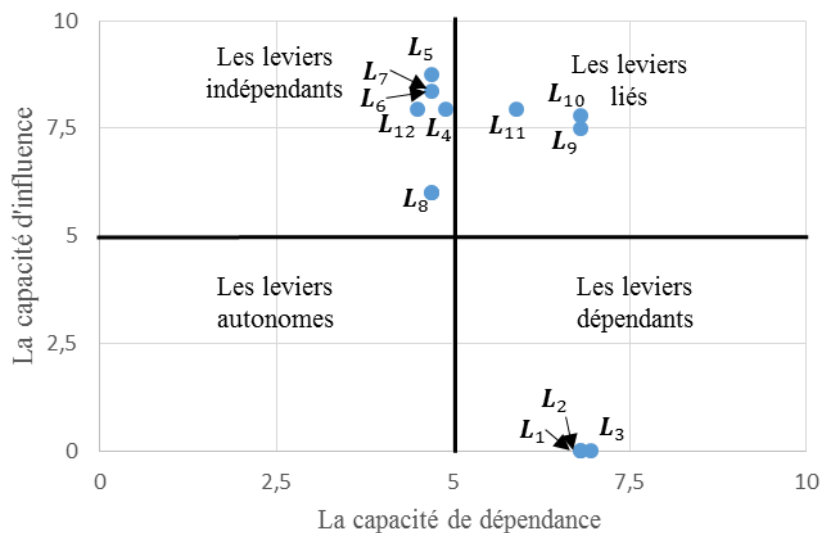


Figure 4.2 : Diagramme d'influence et de dépendance des leviers d'amélioration

La figure 4.2 montre les capacités d'influence et de dépendance des leviers d'amélioration de l'agilité dans la chaîne logistique d'un produit aéronautique à partir de la méthode MICMAC (Bhosale & Kant, 2016).

Les résultats de notre analyse ont été regroupés en 4 catégories :

- La catégorie des leviers autonomes : les leviers d'amélioration placés dans cette zone ont une faible capacité d'influence et une faible capacité de dépendance, ce qui veut dire qu'ils ont un faible impact sur l'agilité de la chaîne logistique. Dans notre cas, aucun levier n'apparaît dans cette zone, ce qui montre que les 12 leviers d'amélioration choisis sont significatifs et ont une influence importante sur l'agilité de la chaîne logistique.
- La catégorie des leviers dépendants : les leviers d'amélioration placés dans cette zone ont une forte dépendance et une faible capacité d'influence. Dans notre cas, 3 leviers d'amélioration apparaissent dans cette zone. La stratégie d'approvisionnement (L_1), la stratégie de gestion de la demande (L_2) et la stratégie de gestion de la production (L_3) ont un faible pouvoir d'influence sur les autres leviers, ce qui explique davantage leur position au premier niveau du diagramme d'antériorités (figure 4.5).
- La catégorie des leviers liés : les leviers d'amélioration placés dans cette zone ont une forte capacité d'influence et une forte capacité de dépendance. Dans notre cas, 3 leviers d'amélioration apparaissent dans cette zone. Le partage du savoir-faire (L_9), l'intégration

des compétences (L_{10}) et la formation des employés (L_{11}) sont les leviers qui ont le rôle le plus important dans l'amélioration de l'agilité puisqu'ils ont une forte influence, une forte dépendance et une position aux niveaux 2 et 3 dans le diagramme d'antériorités (figure 4.5). Ces affirmations sont validées par les travaux de recherche de Bottani (2009); Qamar et Hall (2018); Yusuf et al. (2004).

- La catégorie des leviers indépendants : les leviers d'amélioration placés dans cette zone ont une forte capacité d'influence, mais aucune dépendance. Dans notre cas, 6 leviers d'amélioration apparaissent dans cette zone. La technologie de l'information et de la communication (L_5), les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données (L_8), la stratégie de gestion de l'organisation et de l'information (L_4) et l'amélioration de la culture de l'entreprise (L_{12}) sont considérés comme des leviers clés d'amélioration de l'agilité dans la chaîne logistique.

4.4 L'étape « Développer »

4.4.1 Déterminer les leviers d'amélioration à prioriser

L'équipe de transformation s'est engagée dans un premier cycle d'amélioration de passer du niveau « Peu agile » à un niveau « Hautement agile » de la chaîne logistique du produit X. Pour cela, les experts ont proposé de se focaliser sur deux leviers d'améliorations.

Le tableau 4.27 présente le classement des leviers d'amélioration en fonction de leurs contributions, leurs capacités d'influence et leurs capacités de dépendance.

D'après le résultat des contributions des leviers d'améliorations, l'équipe de transformation s'est concentrée en un premier temps sur le facteur le plus critique qui est la stratégie de gestion des approvisionnements, car celle-ci ne permet pas de faire face aux changements de la cadence de production et finit par accumuler des retards de livraison. Pour cela, une stratégie d'approvisionnement dans le contexte agile est développée au chapitre 5.

Ensuite, l'équipe de transformation s'est penchée sur les leviers d'amélioration qui contribuent le moins au niveau de l'agilité initialement évaluée, qui ont une grande capacité d'influence et qui ont une faible dépendance aux autres leviers d'amélioration.

Après plusieurs discussions, l'équipe de transformation a choisi de se concentrer sur « les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données » puisqu'il est l'un des leviers qui contribue faiblement au niveau d'agilité initialement évaluée (10/12), une très grande capacité d'influence (2/7) et une très faible dépendance (5/6).

Tableau 4.27 : Classement des leviers d'amélioration

Levier L_s	Classement selon la contribution	Classement selon la capacité d'influence	Classement selon la capacité de dépendance
L_1	1	7	2
L_2	2	7	2
L_3	9	7	1
L_4	4	3	4
L_5	5	1	5
L_6	12	6	5
L_7	11	6	5
L_8	3	2	5
L_9	6	5	2
L_{10}	10	4	2
L_{11}	8	3	3
L_{12}	7	3	6

4.4.2 Développer les solutions d'améliorations

En ce qui concerne la stratégie de gestion des approvisionnements, la solution proposée est de développer une stratégie d'approvisionnement optimale dans le contexte agile. Pour cela, la stratégie d'approvisionnement doit considérer :

- l'existence de plusieurs fournisseurs dans le marché avec différents coûts et délais ;
- la réponse à une demande variable ; et
- l'optimisation sur un long horizon avec la possibilité de se réajuster pour satisfaire la demande des clients.

La solution développée est présentée en détail dans le chapitre 5.

En ce qui concerne les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données, la première amélioration était la création d'un environnement commun pour la collaboration. Pour cela, l'utilisation de la version Office 365 en nuage a été adoptée.

4.5 L'étape « Contrôler »

4.5.1 Contrôler l'impact des améliorations sur la performance de la chaîne logistique

En ce qui concerne la solution développée pour la stratégie d'approvisionnement, l'impact de la nouvelle stratégie sur le coût et sur le délai moyen des retards est déterminé (détails dans le chapitre 5).

En ce qui concerne la solution d'amélioration des systèmes de gestion et d'intégration des bases de données par l'utilisation de la version Office 365 en nuage. Cette solution a un impact considérable sur les délais de traitement de requêtes pour avoir accès à l'information. Le délai a passé de 2 jours ouvrables à un accès instantané pour l'utilisateur après configuration des accès.

4.6 L'étape « Agir »

4.6.1 Synthétiser les meilleures pratiques

Lors de cette étape, les résultats développés ont été administrés à une équipe d'amélioration continue qui a documenté les événements inattendus, les stratégies utilisées, les leçons apprises et les connaissances acquises. Ensuite des ateliers de formation ont été proposés pour l'intégration de ces solutions.

4.7 Discussion et conclusion

L'étude de cas présentée dans ce chapitre a permis de démontrer la faisabilité de la méthodologie d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique développée.

À l'étape de planification, l'évaluation de l'agilité de la chaîne logistique a permis de déceler les facteurs-conducteurs critiques ainsi que la contribution de chacun des leviers à améliorer l'agilité de la chaîne logistique. Le niveau de changement du facteur-conducteur « Variation de la demande

des clients en terme de volume » était extrêmement haut et les leviers d'amélioration « Stratégies de gestion des approvisionnements » et « Stratégie de gestion de la demande » avaient la pire performance, ce qui explique la faible contribution de ces leviers à améliorer l'agilité de la chaîne logistique. Le résultat de l'évaluation a montré que la chaîne logistique était peu agile, ce résultat a été validé par l'équipe de transformation puisque l'entreprise n'arrivait pas à répondre aux variations des besoins des clients dans les délais souhaités.

Ensuite, la détermination de l'interdépendance entre les leviers d'amélioration par la méthode ISM nous a permis de comprendre le mécanisme d'amélioration par l'utilisation de chacun des leviers d'amélioration. Les résultats ont montré que les systèmes de planification et de contrôle (L_7), les stratégies de gestion de l'organisation et de l'information (L_4), la technologie de l'information et de la communication (L_5), les systèmes de conception et de fabrication (L_6) et les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données (L_8) sont les leviers de base ayant une influence sur le reste des leviers. Ce raisonnement se joint aux travaux de Bhosale et Kant (2016) dans son étude sur la modélisation des leviers d'amélioration des flux de connaissance dans la chaîne logistique. En ce qui concerne la stratégie de gestion des approvisionnements (L_1), la stratégie de gestion de la demande (L_2) et la stratégie de gestion de la production (L_3), ils ne sont influencés par aucun autre levier d'amélioration. En effet, ces 3 stratégies vont être impactés à chaque changement de systèmes, technologies ou compétences humaines.

Finalement, la détermination de la capacité d'influence et de la dépendance des leviers d'amélioration par la méthode MICMAC nous a permis de classer les leviers d'améliorations en 4 catégories, les leviers autonomes, les leviers dépendants, les leviers liés et les leviers indépendants. Les résultats ont montré que les leviers indépendants étaient les mêmes leviers qui influençaient le reste des leviers d'amélioration dans le graphe d'antériorités. La stratégie de gestion des approvisionnements (L_1), la stratégie de gestion de la demande (L_2) et la stratégie de gestion de la production (L_3) sont les seuls leviers dépendants. En effet, les systèmes, technologies et compétences humaines utilisés vont influencer la performance de ces 3 stratégies. En ce qui concerne les leviers liés, ces derniers sont des compétences humaines et jouent un rôle important dans la réussite des stratégies en utilisant les systèmes et les technologies.

Lors de l'étape de développement, l'équipe de transformation a utilisé le classement de la contribution, de la capacité d'influence et de la capacité de dépendance pour déterminer les leviers

d'amélioration à prioriser. Les leviers qui ont une faible contribution, une grande capacité d'influence et une faible dépendance aux autres leviers d'amélioration étaient priorisés. L'équipe de transformation a recentré ces intérêts sur deux leviers d'amélioration, « l'amélioration de la stratégie d'approvisionnement » et « l'amélioration des systèmes de gestion et d'intégration des bases de données ». Une analyse des dysfonctionnements de ces leviers d'amélioration a été effectuée pour remonter aux causes principales. Cet exercice a permis de proposer deux solutions d'améliorations :

- le développement d'une stratégie d'approvisionnement dans le contexte agile ; et
- la création d'un environnement commun pour la collaboration.

Aux étapes de contrôle et d'exécution, ces deux solutions ont été vérifiées par simulation et ont été validées par l'équipe de transformation. Des premiers résultats ont montré l'intérêt de la méthodologie puisque le temps de traitement de requêtes à baisser de 2 jour ouvrables à un accès instantané.

La limite majeure de cette étude de cas concerne la non-réévaluation du niveau de l'agilité de la chaîne, afin de vérifier si le niveau souhaité est atteint ou non.

CHAPITRE 5 STRATÉGIE OPTIMALE D'APPROVISIONNEMENT D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE AGILE

5.1 Introduction

Une des missions principales du service d'approvisionnement d'une entreprise est de transmettre le niveau d'information requis à ses fournisseurs pour satisfaire une quantité de produits demandée par le client, au bon endroit, au bon moment et en bonne condition, tout en ayant un contrôle optimal sur ses coûts opérationnels.

Cette tâche est d'autant plus compliquée lorsque la chaîne logistique évolue dans un environnement industriel instable et incertain. Les stratégies d'approvisionnement classiques génèrent alors des inadéquations entre la quantité approvisionnée et la demande réelle fluctuante. Ainsi, il en résulte soit des stocks (matière première, produits semi-finis, composants, etc.), soit des ruptures de stock dont les conséquences peuvent parfois être catastrophiques pour l'entreprise. En somme, ces stratégies rendent la chaîne logistique vulnérable et ne sont plus adaptées à la dynamique actuelle du marché.

Pour faire face à ces problèmes, les entreprises sont dans l'obligation de revoir leur stratégie d'approvisionnement pour réduire leurs coûts d'exploitation composés des coûts d'acquisition et des coûts de stockage ou de rupture et améliorer la satisfaction de leurs clients afin de maintenir leur compétitivité.

Selon Martínez-de-Albéniz et Simchi-Levi (2005), les produits approvisionnés peuvent être classés en deux catégories de produits, stratégiques et non stratégiques. Les produits stratégiques sont des produits de classe A selon la classification ABC et sont caractérisés par une complexité élevée ou le nombre de fournisseurs pouvant respecter les critères de qualité sont limités dans le marché (par exemple les fournisseurs des moteurs d'avions), ainsi la stratégie d'approvisionnement adaptée à ce type de produits consiste à établir une collaboration à long terme avec le fournisseur pour améliorer le savoir-faire et assurer la qualité du produit pour un approvisionnement en quantité et en délais satisfaisants (Dyer, Cho, & Chu, 1998). Les produits non stratégiques sont des produits de classe B ou C selon la classification ABC et sont d'une complexité moins élevée et les critères de qualité sont maîtrisables par plusieurs fournisseurs dans le marché. La stratégie

d'approvisionnement adaptée à ce type de produits consiste à établir des relations commerciales avec plusieurs fournisseurs plutôt que d'établir une relation permanente avec un seul fournisseur (Berger & Zeng, 2006; Bhattacharya, Gupta, & Hasija, 2012; Burke, Carrillo, & Vakharia, 2007, 2009; Glock, 2012; Yu, Zeng, & Zhao, 2009).

Nous étudions dans ce chapitre la problématique d'approvisionnement multipériodes en produits non stratégiques d'une entreprise dont la demande externe est aléatoire. La demande externe est dépendante de la demande d'un sous-ensemble. Le produit peut être approvisionné auprès de plusieurs fournisseurs dans le marché et chaque fournisseur a une capacité limitée et propose le produit à un coût et un délai d'approvisionnement différents.

Ce chapitre est organisé comme suit : la section 5.2 présente la stratégie d'approvisionnement proposée et la section 5.3 présente sa formulation mathématique. Dans la section 5.4, notre approche de résolution du problème est discutée et un algorithme de résolution est développé. Nous illustrons à la section 5.5 un exemple d'approvisionnement multifournisseur sur plusieurs périodes et nous comparons les résultats de la stratégie développée avec plusieurs stratégies classiques d'approvisionnement à la section 5.6. Finalement, une conclusion est présentée à la section 5.7.

5.2 La stratégie d'approvisionnement

5.2.1 Le problème d'approvisionnement

La chaîne d'approvisionnement étudiée se compose d'un seul acheteur (le service d'approvisionnement) approvisionné par plusieurs fournisseurs candidats (F fournisseurs) pour satisfaire la demande de ses clients (Assembleurs d'avions). La figure 5.1 illustre la chaîne d'approvisionnement que nous allons étudier.

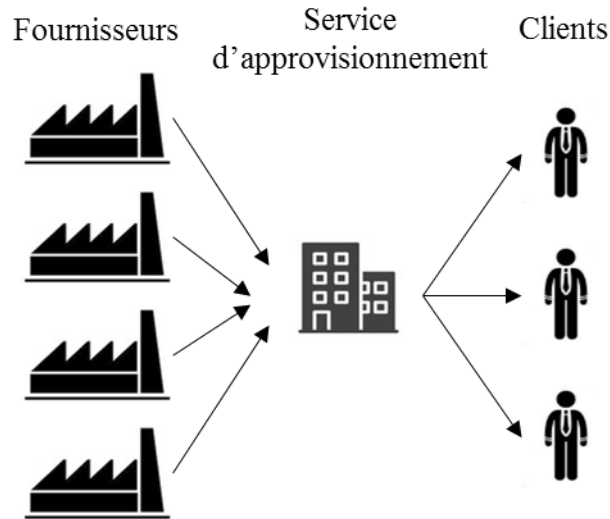


Figure 5.1 : Chaîne d'approvisionnement étudiée

La problématique étudiée est un cas d'approvisionnement sur plusieurs périodes (K périodes) et chaque période est constituée d'un nombre connu n d'**unités** de temps.

Le service d'approvisionnement lance un ordre d'approvisionnement au début de chaque période pour répondre à la demande stochastique de ses clients qui ne sera connue qu'à la fin de la même période. Un ou plusieurs fournisseurs des F fournisseurs candidats sont susceptibles d'être sélectionnés pour livrer la quantité commandée.

À chaque période, un fournisseur est caractérisé par :

- un coût unitaire de réservation;
- un coût unitaire d'exécution;
- une capacité maximale; et
- un délai de livraison par unité de temps.

La figure 5.2 présente un exemple des caractéristiques des fournisseurs à une période, où nous avons le fournisseur f_1 ayant un coût de réservation par pièce le moins cher et le plus court délai d'approvisionnement par contre le coût d'exécution le plus élevé et le fournisseur f_3 ayant le plus faible coût de réservation par contre un coût de réservation élevé et le plus long délai d'approvisionnement. Nous pouvons remarquer qu'aucun fournisseur n'est performant au niveau

des coûts et au niveau des délais, cependant c'est un compromis à déterminer entre les deux pour s'approvisionner.

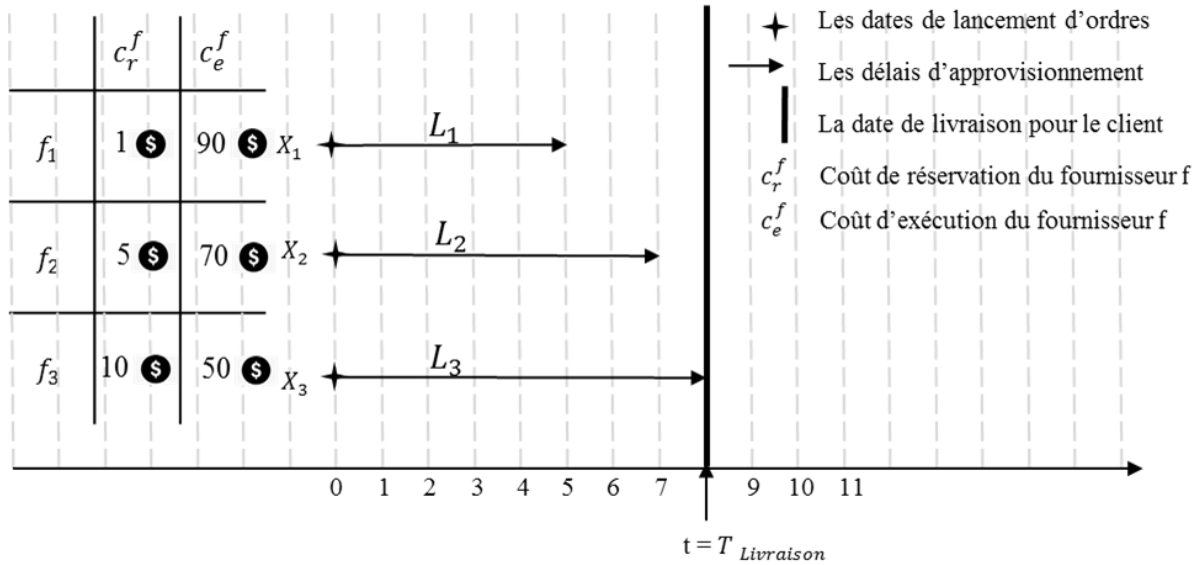


Figure 5.2 : Caractéristiques des fournisseurs sur une période

5.2.2 La stratégie proposée

L'objectif du service d'approvisionnement consiste à examiner l'état de son stock X_k au début de chaque période k , puis à lancer un ordre d'approvisionnement U_k auprès des fournisseurs sélectionnés pour répondre à la demande stochastique d_k qui ne sera connue qu'à la fin de cette période.

À la fin de cette période (début de la période $k+1$), toute la quantité commandée a été livrée et la réalisation stochastique de la demande des clients est observée.

- Si la quantité approvisionnée est supérieure à la demande réelle, alors un surplus de stock est généré, cet excès va rester entreposé pour toute la période suivante ($k+1$) et va être utilisé pour répondre à la demande de la période suivante.
- Si au contraire, la quantité approvisionnée est inférieure à la demande réelle, alors une rupture de stock est générée et la quantité en rupture doit être satisfaite à la période ($k+1$).

Ensuite, un ordre d'approvisionnement sera lancé pour répondre à la rupture de stock (si elle existe) et à la demande de la période suivante. La dynamique de l'état du stock est donnée par l'éq. (32) :

$$X_{k+1} = X_k + U_k - d_k \quad (32)$$

À la fin de la dernière période :

- si nous avons une rupture de stock, seule la quantité en rupture va être commandée pour satisfaire la demande des clients; et
- si nous avons un surplus de stock, ce dernier sera entreposé et non vendu.

Le séquençement de la politique d'approvisionnement à intervalle fixe est schématisé à la figure 5.3.

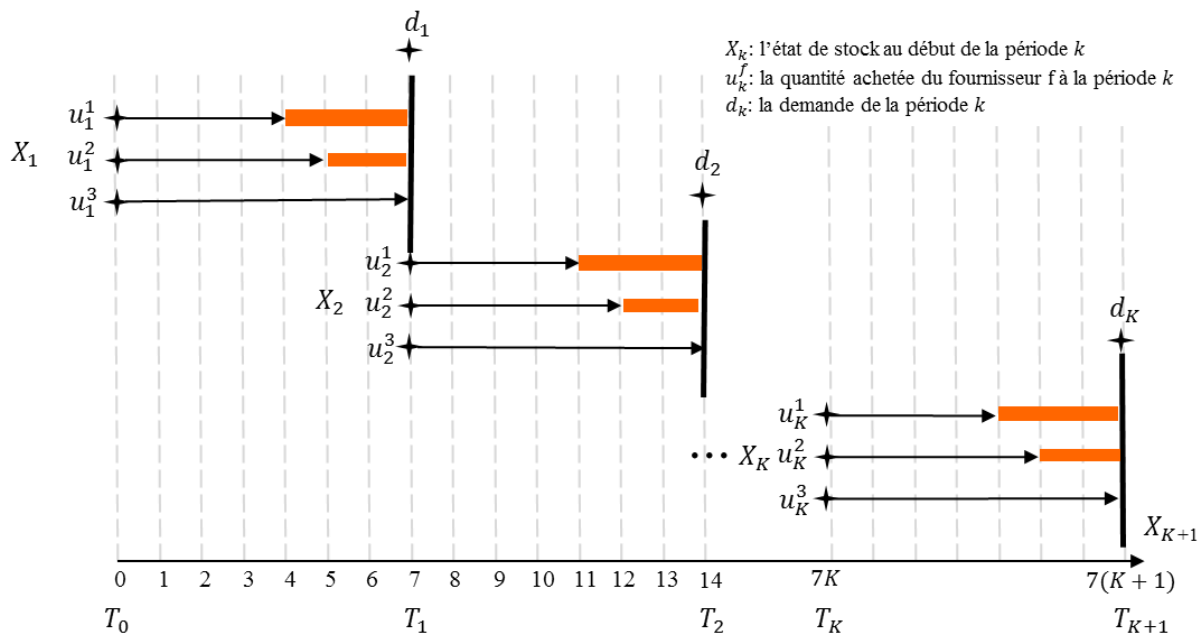


Figure 5.3 : Séquence des événements d'approvisionnement

L'objectif du service d'approvisionnement est multiple. D'une part, au début de la première période, il consiste à sélectionner les fournisseurs et à déterminer les quantités à réserver par période auprès de chacun d'eux. D'une autre part, en fonction de l'état de stock au début de chaque période, il consiste à déterminer la quantité optimale à s'approvisionner et sa répartition sur chaque fournisseur sélectionné. Le tout dans le but de minimiser l'espérance du coût total sur un horizon composé de K périodes.

Nous présentons dans la section suivante la formulation mathématique de ce problème d'approvisionnement.

5.3 Formulation du problème

5.3.1 Notation

Pour ce problème, la notation suivante est adoptée :

- \overline{K} : L'ensemble des périodes $k \in \overline{K} : [1, 2, \dots, K]$
- \overline{F} : L'ensemble des fournisseurs $f \in \overline{F} : [1, 2, \dots, F]$
- X_k : L'état du stock au début de la période k
- d_k : La demande de composants à la période k (variable aléatoire discrète)
- \overline{D}_k : L'espace des perturbations d_k à la période k
- d : La borne inférieure de la demande
- D : La borne supérieure de la demande
- T_k : La date de livraison des composants pour le client à la période k
- C_e^f : Le coût unitaire d'exécution du composant auprès du fournisseur f
- C_r^f : Le coût unitaire de réservation du composant auprès du fournisseur f
- Q_k^f : La capacité du fournisseur f à la période k
- L^f : Le délai de livraison des composants du fournisseur f
- h : Le coût unitaire de stockage d'un composant par **unité** de temps
- b : Le coût unitaire de rupture d'un composant par **unité** de temps
- n : Le nombre d'**unités** de temps constituant une période
- $(x)^+ = \max(0, x)$
- $\lambda(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$: la fonction échelon unité
- $\lceil x \rceil = \min\{i \in \mathbb{Z} | i \geq x\}, \forall x \in \mathbb{R}$: le plus petit nombre entier supérieur ou égal à x

5.3.2 Données

Pour le problème abordé ici, les données suivantes sont connues au préalable :

1. La demande des clients $(d_k, \forall k \in \overline{K})$ est indépendamment et identiquement distribuées d'une période à l'autre et admettent une borne supérieure $D < \infty$ et une borne inférieure $d \geq 0$.
2. La distribution de la demande est connue et est donnée par la fonction de répartition $\mathcal{F}(\cdot)$.
3. Pour chaque fournisseur $f \in [1, 2, \dots, F]$, les coûts unitaires de réservation et d'exécution, le délai d'approvisionnement (déterministe) et la capacité sont connus pour toutes les périodes.
4. Entre chaque deux unités de temps, les coûts unitaires de stockage et de rupture sont connus et constants pour toutes périodes.

5.3.3 Hypothèses

Pour ce problème d'approvisionnement multifournisseur à contrats flexibles, les hypothèses suivantes sont adoptées :

1. Nous supposons que les étapes de déterminations des coûts et de négociations des contrats sont en dehors de notre analyse puisque notre objectif est de développer une stratégie minimisant les coûts opérationnels en prenant en compte les termes du contrat de chaque fournisseur.
2. Le service d'approvisionnement a la possibilité de s'approvisionner auprès des F fournisseurs candidats. Nous supposons qu'une étude du marché a été réalisée au préalable et tous les fournisseurs candidats respectent les critères de présélection établis par l'entreprise. Wu, C. et Barnes (2011) présentent une revue de littérature des méthodes de présélection des fournisseurs. Cette hypothèse nous permet de considérer seulement les coûts et les délais comme critères de sélection des fournisseurs.
3. La capacité de tous les fournisseurs à chaque période est supérieure à la demande maximale sur toutes les périodes. Cette hypothèse est nécessaire pour être certain que toute la demande puisse être traitée et qu'aucune rupture de stock ne soit liée à la capacité des fournisseurs.

4. Le coût de rupture est très important par rapport au coût réservation. Cette hypothèse est nécessaire pour s'assurer qu'il est avantageux de réserver une pièce que de payer son coût de rupture.
5. Les paramètres des fournisseurs sont différents d'un fournisseur à l'autre et le délai d'approvisionnement maximal de tous les fournisseurs ne peut dépasser une période. Cette hypothèse est nécessaire pour s'assurer que les commandes des fournisseurs à une période arrivent avant la réalisation stochastique de la demande.
6. Nous considérons que toutes les commandes sont lancées au début de chaque période et qu'aucun coût de stockage n'est considéré entre la date de réception de la commande du fournisseur et la date de livraison prévue (les dates de lancement d'ordre peuvent être déterminées pour que la date de réception de toutes les commandes soit la date de livraison).

5.3.4 Les variables de décision

Deux décisions sont prises par le service d'approvisionnement, la première décision est relative à la quantité à réserver auprès de chacun des fournisseurs à la période k . Cette décision est prise au début de la première période et couvre toutes les périodes. Cette décision est donnée par le vecteur de variables :

- (r_k^1, \dots, r_k^F) : les quantités réservées chez les fournisseurs à la période k .

La deuxième décision consiste à répartir en fonction de l'état de stock X_k , l'ordre d'approvisionnement auprès des fournisseurs sélectionnés au début de chaque période k . Cette décision est donnée par le vecteur des variables :

- (u_k^1, \dots, u_k^F) : les quantités approvisionnées des fournisseurs à la période k .

La quantité approvisionnée à la période k peut être déduite implicitement du deuxième vecteur de variables de décision, cette variable est donnée par :

- U_k : la quantité approvisionnée à la période k

5.3.5 L'objectif

L'objectif du service d'approvisionnement est de déterminer les quantités (r_k^1, \dots, r_k^F) et les quantités (u_k^1, \dots, u_k^F) qui minimisent l'espérance du coût total de l'ensemble des périodes. Ce coût est donné par l'éq. (33) :

$$\mathbb{E} \left[\sum_{k=1}^K \left(e_k(r_k^1, \dots, r_k^F) + g_k(u_k^1, \dots, u_k^F) + h_k(X_{k+1}) + b_k(X_{k+1}) \right) + C(X_{K+1}) \right] \quad (33)$$

Avec :

- $e_k(r_k^1, \dots, r_k^F)$: Le coût de réservation des quantités (r_k^1, \dots, r_k^F) auprès des fournisseurs à la période k . Ce coût est la somme du produit de la quantité réservée par le coût unitaire de réservation auprès de tous les fournisseurs. Puisque les quantités à réserver sont déterminées au début la première période, ce coût est constant sur chaque période et est donné par l'éq. (34) :

$$e_k(r_k^1, \dots, r_k^F) = \sum_{f \in \bar{F}} [r_k^f * C_r^f] = Cst_k \quad (34)$$

- $g_k(u_k^1, \dots, u_k^F)$: Le coût d'acquisition des quantités (u_k^1, \dots, u_k^F) . Ce coût est la somme du produit de la quantité approvisionnée par le coût unitaire d'exécution auprès de tous les fournisseurs et est donné par l'éq. (35) :

$$g_k(u_k^1, \dots, u_k^F) = \sum_{f \in \bar{F}} [u_k^f * C_e^f] \quad (35)$$

- $h_k(X_{k+1})$: Le coût de stockage de la quantité $(X_{k+1} = X_k + U_k - d_k)^+$ du début de la période k jusqu'au début de la période $(k+1)$ si nous avons un surplus de stock entre la quantité commandée et la réalisation stochastique de la demande à la fin de cette période k . Ce coût est donné par l'éq. (36) :

$$h_k(X_{k+1}) = (X_{k+1})^+ * (T_{k+1} - T_k) * h \quad (36)$$

- $b_k(X_{k+1})$: Le coût de rupture de la quantité $(-X_{k+1} = d_k - X_k - U_k)^+$ le temps de réapprovisionner le client. Ce coût est donné par l'éq. (37) :

$$b_k(X_{k+1}) = \lambda(-X_{k+1}) * \sum_{f \in \bar{F}} (L^f * b * x_{k+1}^{*f}) \text{ avec } X_{k+1} = - \sum_{f \in \bar{F}} x_{k+1}^{*f} \quad (37)$$

Avec x_{k+1}^{*f} : la quantité optimale à s'approvisionner à la période $k+1$ auprès du fournisseur f pour répondre à la quantité de rupture $(-X_{k+1} = d_k - X_k - U_k)^+$

- $C(X_{K+1})$: le coût d'acquisition de la quantité en rupture à la fin de la période K . Ce coût est donné par l'éq. (38) :

$$C(X_{K+1}) = \sum_{f \in \bar{F}} [x_{K+1}^f * C_e^f] \quad (38)$$

$$\text{avec } (-X_{K+1})^+ = \sum_{f \in \bar{F}} x_{K+1}^f$$

5.3.5.1 Proposition 5.1 (Preuve à l'annexe B)

On pose

$$q_k(X_k, (u_k^1, \dots, u_k^F), X_{k+1}) = g_k(u_k^1, \dots, u_k^F) + h_k(X_{k+1}) + b_k(X_{k+1})$$

Pour toute stratégie $S = (f_1, \dots, f_K)$ avec f_k la règle de décision du service d'approvisionnement à la période k qui satisfait $U_k^S = f_k(X_k^S)$, l'espérance du coût total de la stratégie S ayant un stock initial $(X_1^S = i)$ est donné par l'éq. (39) :

$$J_1^S(i) = \mathbb{E} \left[\sum_{k=1}^K \left(e_k(r_k^1, \dots, r_k^F) + q_k(X_k^S, f_k(X_k^S), X_{k+1}^S) \right) + C(X_{K+1}) \mid X_1^S = i \right] \quad (39)$$

L'objectif du service d'approvisionnement est de trouver à la première période ($k = 1$), une stratégie optimale S^* et les quantités à réserver par fournisseur et par période qui minimisent l'espérance du coût total de la stratégie. La stratégie optimale est déterminée par l'éq. (40) :

$$J_1^*(i) = \min_S J_1^S(i) \quad (40)$$

5.3.6 Les contraintes

Notre problème d'approvisionnement est confronté à plusieurs contraintes. La première contrainte est relative à la quantité réservée par fournisseur et par période. Cette quantité ne peut excéder la capacité du fournisseur f à la période k , alors l'ensemble Λ_k^f des quantités de réservation par

fournisseur f et par période k est donné par l'éq. (41). C'est l'ensemble des nombres entiers compris entre $[0; Q_k^f]$ puisque la demande est formulée en nombre entier.

$$\Lambda_k^f = [0; Q_k^f] \cap \mathbb{N} \quad \forall f \in \overline{F}; \forall k \in \overline{K} \quad (41)$$

La deuxième contrainte est relative à l'état de stock au début de chaque période. Nous considérons que l'état du stock au début de la première période est connu. Nous prenons $X_1 = 0$, mais la suite des analyses est valide $\forall X_1$. Puisque la demande des clients est bornée ($d_k \in [d, D]$), alors l'ensemble Φ_k des états possibles du stock X_k au début de la période k est donné par l'éq. (42). L'état de stock peut être positif dans le cas où nous avons un surplus de stock, mais peut être aussi négatif dans le cas où nous avons une rupture de stock.

$$\Phi_k = [(k-1) * (d-D); K * D - (k-1) * d] \cap \mathbb{Z} ; k = 2, \dots, K+1 \quad (42)$$

La troisième contrainte est relative à la quantité approvisionnée en fonction de l'état de stock X_k . Pour un état de stock ($X_k = i$) $\in \Phi_k$, l'ensemble $\Psi_k(i)$ des états possible de la quantité approvisionnée U_k à la période k est donné par l'éq. (43) :

$$\Psi_k(i) = [(d-i)^+; (K-k+1) * D - i]^+ \cap \mathbb{N} ; \forall k \in \overline{K} \quad (43)$$

Les contraintes suivantes sont relatives aux quantités (u_k^1, \dots, u_k^F) à s'approvisionner de chaque fournisseur pour répondre à un ordre d'approvisionnement ($U_k = j$) $\in \Psi_k(i)$ avec un état de stock ($X_k = i$) $\in \Phi_k$.

La somme ($\sum_{f \in \overline{F}} u_k^f$) des quantités approvisionnées des fournisseurs doit être égale à l'ordre d'approvisionnement ($U_k = j$). Cette contrainte est mise en évidence dans l'éq. (44) :

$$\sum_{f \in \overline{F}} u_k^f = j ; \forall k \in \overline{K} \quad (44)$$

La quantité approvisionnée auprès d'un fournisseur f ne peut excéder la quantité réservée chez ce même fournisseur. Cette contrainte est donnée par l'éq. (45) :

$$u_k^f \leq r_k^f ; \forall r_k^f \in \Lambda_k^f, \forall f \in \overline{F}, \forall k \in \overline{K} \quad (45)$$

L'équation (46) met en relief la contrainte d'intégrité

$$u_k^f \in \mathbb{N}; \forall f \in \overline{F}, \forall k \in \overline{K} \quad (46)$$

À partir des équations (41) à (46), l'ensemble des décisions d'approvisionnement de chaque fournisseur (u_k^1, \dots, u_k^F) est donné par l'éq. (47) :

$$Y_k(j) = \left\{ (u_k^1, \dots, u_k^F) \left| \begin{array}{l} j \in \Psi_k(i); i \in \Phi_k; \sum_{f \in \bar{F}} u_k^f = j; \\ u_k^f \leq r_k^f; r_k^f \in \Lambda_k(f) \text{ et } u_k^f \in \mathbb{N} \end{array} \right. \right\} \quad (47)$$

Le paragraphe suivant a pour but de montrer que la résolution de ce problème d'approvisionnement de K périodes peut se ramener à la résolution par récurrence descendante de K problèmes d'une seule période.

5.4 Approche de résolution

Dans cette section, nous présentons notre démarche de résolution de ce problème d'approvisionnement sur K périodes. À partir de l'éq. (39), nous avons :

$$J_k^S(i) = \mathbb{E} \left[\sum_{t=k}^K \left(e_t(r_t^1, \dots, r_t^F) + q_t(X_t^S, f_t(X_t^S), X_{t+1}^S) \right) + C(X_{K+1}) \mid X_k^S = i \right]$$

La fonction $e_t(r_t^1, \dots, r_t^F)$ est constante sur chaque période, puisque les quantités réservées sont déterminées au début de la première période, ainsi

$$J_k^S(i) = \sum_{t=k}^K e_t(r_t^{*1}, \dots, r_t^{*F}) + \mathbb{E} \left[\sum_{t=k}^K \left(q_t(X_t^S, f_t(X_t^S), X_{t+1}^S) \right) + C(X_{K+1}) \mid X_k^S = i \right]$$

On pose

$$T_k^S(i) = \mathbb{E} \left[\sum_{t=k}^K \left(q_t(X_t^S, f_t(X_t^S), X_{t+1}^S) \right) + C(X_{K+1}) \mid X_k^S = i \right]$$

Nous avons montré que la fonction $q_t(X_t^S, f_t(X_t^S), X_{t+1}^S)$ est séparable (voir Annexe B) et d'après la fonction de transition de l'état de stock, l'espérance du coût total de la stratégie ayant un stock initial $(X_k = i) \in \Phi_k$ est donné dans l'éq. (48) :

$$\begin{cases} T_k^S(i) = \sum_{x \in \bar{D}_k} \mathbb{P}(d_k = x) [q_t(i, f_t(i), (i + f_t(i) - x)) + T_{k+1}^S(i + f_t(i) - x)] \\ T_{K+1}^S(i) = C(i) \end{cases} \quad (48)$$

Par le principe d'optimalité de Bellman (Bellman, R., 1954), la fonction objective peut s'écrire comme des équations de la programmation dynamique et est donnée par l'éq. (49) :

$$\begin{aligned}
 J_k^*(i) &= \sum_{t=k}^K e^*_t(r^{*1}_t, \dots, r^{*F}_t) + \min_S (T_k^S(i)) \\
 &= \sum_{t=k}^K e^*_t + \min_S \left(\sum_{x \in \bar{D}_k} \mathbb{P}(d_k = x) [q_t(i, f_t(i), (i + f_t(i) - x)) + T_{k+1}^S(i + f_t(i) - x)] \right) \\
 &= \sum_{t=k}^K e^*_t + \min_{(u_k^1, \dots, u_k^F)} \left(\sum_{x \in \bar{D}_k} \mathbb{P}(d_k = x) [g_k(u_k^1, \dots, u_k^F) + h_k(X_{k+1}) + b_k(X_{k+1}) + T_{k+1}^S(X_{k+1})] \right) \\
 &= \sum_{t=k}^K e^*_t + \min_S \left(\min_{(u_k^1, \dots, u_k^F)} (g_k(u_k^1, \dots, u_k^F)) \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{x \in \bar{D}_k} \mathbb{P}(d_k = x) [h_k(X_{k+1}) + b_k(X_{k+1}) + T_{k+1}^S(X_{k+1})] \right) \tag{49}
 \end{aligned}$$

Avec $X_{k+1} = (i + f_t(i) - x)$, $\sum u_k^f = f_t(i)$ et f_t^* : le coût optimal de réservation à la période t.

Les fonctions $J_k^*(i)$ sont définis par récurrence descendante à partir de $T_{K+1}^S(i)$.

Pour réduire la complexité de ce problème, nous allons déterminer la solution optimale pour le terme $T_k^*(i)$ en prenant comme hypothèse :

$$(r_k^1, \dots, r_k^F) = (Q_k^1, \dots, Q_k^F), \forall k \in \bar{K}$$

Ensuite, nous allons utiliser la solution S^* pour la détermination de l'optimum du terme f_t^* . Nous allons diviser notre problème en 2 problèmes interdépendants comme le montre la figure 5.4 et nous allons résoudre chaque partie successivement.

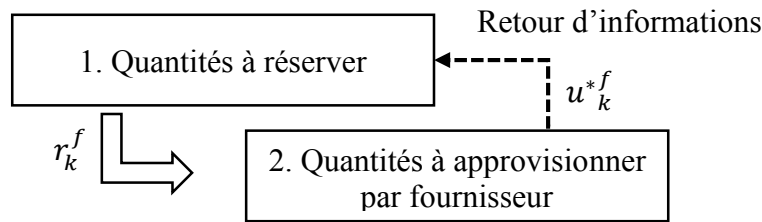


Figure 5.4 : Sous-objectifs du problème d'approvisionnement

5.4.1 Problème 1 : Les quantités à approvisionner par fournisseur

L'objectif de ce sous-problème est de trouver à la première période ($k = 1$), une stratégie optimale S^* qui minimise l'espérance du coût total de la stratégie. La stratégie optimale est déterminée par l'éq. (50) :

$$T_k^{*S}(i) = \min_S \left(\min_{(u_k^1, \dots, u_k^F)} (g_k(u_k^1, \dots, u_k^F)) + \sum_{x \in \bar{D}_k} \mathbb{P}(d_k = x) [h_k(X_{k+1}) + b_k(X_{k+1}) + T_{k+1}^S(X_{k+1})] \right) \quad (50)$$

Avec :

$$T_{K+1}^{*S}(i) = \min_{(u_{K+1}^1, \dots, u_{K+1}^F)} (\sum_{f \in \bar{F}} [u_{K+1}^f * C_e^f] \mid \sum_{f \in \bar{F}} u_{K+1}^f = i)$$

Nous allons diviser ce problème en 2 sous-problèmes, le premier sous-problème 1 traite les quantités (u_k^1, \dots, u_k^F) qui minimisent la fonction $g_k(\cdot)$ et le sous-problème 2 traite la détermination de la stratégie optimale S^* qui minimise l'espérance du coût total de la stratégie.

5.4.1.1 Sous-problème 1

Dans le problème proposé, les délais d'approvisionnement sont différents d'un fournisseur à l'autre, alors le coût de rupture d'une quantité X_k n'est pas constant sur une période et dépendra du fournisseur sélectionné.

Lors de la détermination des quantités optimales à s'approvisionner de chaque fournisseur, il est donc nécessaire d'inclure le coût lié à la rupture de cette quantité X_k puisqu'il faut trouver le meilleur compromis entre le coût de rupture et le coût d'acquisition. En effet, le fournisseur le moins cher du lot des fournisseurs peut ne pas être choisi pour satisfaire une quantité en rupture du fait de sa longue durée d'approvisionnement.

Prenant un simple exemple de deux fournisseurs avec respectivement un coût d'achat de 5\$ et 1\$ et un délai d'approvisionnement de 1 et 4 semaines. Sachant que le taux de rupture par semaine est de 5\$, alors pour acheter une unité en rupture à période $(k+1)$, le coût réel d'achat est de 10\$ pour le fournisseur n°1 et 21\$ pour le fournisseur n°2. Ainsi, il est avantageux économiquement d'acheter du fournisseur n°1 lorsqu'on a une rupture.

Même si le coût de rupture a été inclus dans la détermination des quantités optimales, il ne sera pas considéré dans le coût total de la période puisqu'il a été inclus dans le coût total de la période précédente. Dans le même contexte de l'exemple précédent, le coût de rupture a été déjà inclus à la période k , mais a servi à déterminer les quantités optimales à la période $(k+1)$.

D'un autre côté, dans le problème proposé, les coûts de réservation sont différents d'un fournisseur à l'autre et le coût d'achat d'une pièce est la somme du coût de réservation et du coût d'exécution. Il est donc important de prendre ces deux coûts dans la détermination des quantités optimales, mais ne pas considérer le coût de réservation dans la détermination du coût total de la période. Le coût de réservation est indépendant de la quantité approvisionnée et est déterminé au début de la première période. La seule contrainte que nous avons est que la quantité achetée ne doit pas dépasser la quantité réservée.

Pour déterminer les quantités à approvisionner par fournisseur, nous considérons le vecteur des variables suivant :

- $W_k = (w_k^1, \dots, w_k^F, w_k^{F+1}, \dots, w_k^{2F})$

Ce vecteur de variables de décision est constitué de deux vecteurs : le vecteur (w_k^1, \dots, w_k^F) représentant les quantités à approvisionner par fournisseur pour répondre à la rupture de la période précédente si elle existe et le vecteur $(w_k^{F+1}, \dots, w_k^{2F})$ représentant les quantités à approvisionner pour répondre à la demande prévisionnelle. Pour faciliter l'appellation, nous considérons :

$$(x_k^1, \dots, x_k^F) = (w_k^1, \dots, w_k^F) \text{ et } (z_k^1, \dots, z_k^F) = (w_k^{F+1}, \dots, w_k^{2F})$$

Pour un état de stock $X_k \in \Phi_k$ et un ordre d'approvisionnement $U_k \in \Psi_k(X_k)$, le vecteur des variables de décision $((x_k^1, \dots, x_k^F), (z_k^1, \dots, z_k^F))$ doit respecter la contrainte de satisfaction de la rupture uniquement par (x_k^1, \dots, x_k^F) et la contrainte de satisfaire le reste par (z_k^1, \dots, z_k^F) . Ces deux contraintes sont données par les équations (51) et (52) puisque si nous avons une rupture de stock, alors X_k est négatif, donc $(-X_k)$ est positif, donc $(-X_k)^+$ est positif, ainsi x_k^f ne recevront que les quantité en rupture et z_k^f recevront le reste. Par contre, si nous avons un surplus de stock, alors X_k est positif, donc $(-X_k)$ est négatif, donc $(-X_k)^+$ est nul, ainsi x_k^f ne recevront rien et z_k^f recevront la totalité de l'ordre d'approvisionnement U_k .

$$\sum_{f \in \bar{F}} x_k^f = (-X_k)^+ \quad (51)$$

$$\sum_{f \in \bar{F}} z_k^f = U_k - (-X_k)^+ \quad (52)$$

Pour un état de stock $(X_k = i) \in \Phi_k$ et une quantité approvisionnée $(U_k = j) \in \Psi_k(i)$, l'espace d'états des décisions d'approvisionnement admissibles $((x_k^1, \dots, x_k^F), (z_k^1, \dots, z_k^F))$ doit respecter les contraintes données par les équations (51) et (52), et est donné par l'éq. (53) :

$$\Delta_k(i, j) = \left\{ \left((x_k^1, \dots, x_k^F), (z_k^1, \dots, z_k^F) \right) \left| \begin{array}{l} (u_k^1, \dots, u_k^F) \in Y_k(j) \\ \sum_{f \in \bar{F}} x_k^f = (-i)^+; \sum_{f \in \bar{F}} z_k^f = (j - (-i)^+) \\ x_k^f \in \mathbb{N} \text{ et } z_k^f \in \mathbb{N} \end{array} \right. \right\} \quad (53)$$

Les quantités optimales à commander de chaque fournisseur pour répondre à un ordre d'approvisionnement $(U_k = j) \in \Psi_k(i)$, avec un état de stock $(X_k = i) \in \Phi_k$ sont déterminés par la fonction présentée à l'éq. (54) :

$$V(i, j) = \min_{((x_k^1, \dots, x_k^F), (z_k^1, \dots, z_k^F)) \in \Delta_k(i, j)} \left\{ \sum_{f \in \bar{F}} [x_k^f * (C_r^f + C_e^f + L^f * b) + z_k^f * (C_r^f + C_e^f)] \right\} \quad (54)$$

La quantité optimale u_k^f à s'approvisionner chez le fournisseur f au début de la période k est donnée par l'éq. (55) :

$$u_k^f = x_k^f + z_k^f; \forall f \in \bar{F}; \forall k \in \bar{K} \quad (55)$$

Avec $((x_k^{*1}, \dots, x_k^{*F}), (z_k^{*1}, \dots, z_k^{*F})) = \arg \min(V(i, j))$

L'équation (50) est un problème linéaire en nombre entier et les algorithmes par séparation et évaluation (Branch & Bound) nous permettent de résoudre ce type de problème (Lawler & Wood, 1966).

5.4.1.2 Sous-problème 2

Le sous-problème 2 présenté à l'équation (50) est un problème de programmation dynamique stochastique en nombre entier et peut être résolu en utilisant l'algorithme de programmation dynamique proposé par Zou, Ahmed et Sun (2018).

Un pseudo-code de résolution du problème 1 est donné dans la figure 5.5.

```

Données { Les paramètres du problème d'approvisionnement }
Résultats { La stratégie  $S^* = (f^*_1, \dots, f^*_K)$  }
Initialisation { Quantités réservées = capacité maximale des fournisseurs }
                {  $T^{S^*}_{K+1}(i)$  }
For each Période  $k = K : 1 : 1$ 
    For each  $(X_k = i) \in \Phi_k$ 
        For each  $(U_k = j) \in \Psi_k(i)$ 
            Déterminer  $(u^{*1}_k, \dots, u^{*F}_k) \in Y_k(j)$  par l'algorithme Branch and Bound.
            For each  $(d_k = x) \in \overline{D}_k$ 
                Calculer le coût de la période  $k$  à la période  $K$ 
                 $q_k(i, j, (i + j - x)) + T^{S^*}_{k+1}(i + j - x)$ 
            End
            Calculer le coût moyen de la période  $k$  à la période  $K$ 
             $\sum_{x \in \overline{D}_k} \mathbb{P}(d_k = x) * (q_k(i, j, (i + j - x)) + T^{S^*}_{k+1}(i + j - x))$ 
        End
        Déterminer  $(u^{*1}_k, \dots, u^{*F}_k)$  qui minimisent le coût moyen de la période  $k$  à  $K$ .
    End
    Déterminer la règle d'approvisionnement  $f^*_k$ 
End
{  $S^* = (f^*_1, \dots, f^*_K)$  }

```

Figure 5.5 : Algorithme de résolution du problème 1

5.4.2 Problème 2 : Les quantités à réserver par fournisseur

Soit $S^* = (f^*_1, \dots, f^*_K)$ la stratégie optimale d'approvisionnement obtenu de la résolution du problème 1 et soit $(X_1 = i)$ l'état de stock au début de la première période, alors l'ensemble des réalisations possibles des quantités approvisionnées par fournisseur en utilisant la stratégie S^* peut être déterminé par récurrence en utilisant l'éq. (56) :

$$\Omega_k^{S^*} = \left\{ (u^{*1}_k, \dots, u^{*F}_k) \left| \begin{array}{l} \sum_{f \in \overline{F}} u^{*f}_k = f^*_k(X_k); \\ X_k = X_{k-1} + f^*_{k-1}(X_{k-1}) - x; \forall x \in \overline{D}_k \end{array} \right. \right\} \quad (56)$$

Ainsi, en respectant l'hypothèse n° 4, la quantité optimale à réserver à chaque période est donnée par l'éq. (57) :

Les coûts unitaires de stockage et de rupture par unité de temps (semaine) sont constants d'une période à l'autre et sont : $b=5$ et $h=1$.

La stratégie a été entièrement codée sous Matlab 2014 et le solveur de programmation linéaire en nombre entiers « Mixed-integer linear programming solver » (MILP) a été utilisé pour la résolution du sous-problème 1.

La stratégie optimale d'approvisionnement est :

$$S^* = ((70 - X_i)^+, (60 - X_{12})^+) \text{ pour } i = (1, \dots, 11)$$

Cette stratégie consiste à commander la quantité $U = (70 - X_i)$ permettant d'atteindre le niveau de stock à 70 et ne rien faire ($U = 0$) si l'état de stock est supérieur à 70 entre la première période et l'avant-dernière période (période 11). À la dernière période (période 12), le niveau de stock à atteindre est de 60. Cette diminution (entre 70 et 60) est due au fait que si un surplus de stock est généré à cette période, il sera entreposé et non vendu, contrairement aux périodes précédentes où le surplus de stock est utilisé pour satisfaire la demande de la période suivante. Donc, la pénalité du surplus de stock à la période 12 (coût de réservation + coût d'exécution) est plus élevée que la pénalité du surplus de stock (coût de stockage sur une période) aux autres périodes du fait que la somme des coûts de réservation et d'exécution d'un produit est plus élevée que son coût de stockage pour une période. Les quantités optimales à réserver par fournisseur et par période sont données dans le tableau 5.3.

Tableau 5.3 : Quantités réservées de chaque fournisseur par période

Fournisseur Périodes	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	70
2 → 11	30	0	0	0	70
12	30	0	0	0	60

En ce qui concerne le choix des fournisseurs, la quantité en rupture $(-X_i)^+$ est approvisionnée chez le fournisseur le plus rapide en termes de délais de livraison et la quantité restante $((70 - X_i)^+ - (-X_i)^+)$ est approvisionnée chez le fournisseur le moins cher. Ceci est dû au fait qu'il est plus avantageux économiquement d'acheter un produit plus cher et payer la pénalité de rupture sur une courte période que si on achetait le produit le moins cher, mais que la pénalité de rupture sera sur une période plus longue.

5.6 Analyse des résultats

Pour évaluer la performance de notre stratégie dans le cas d'approvisionnement agile, nous la comparons aux stratégies suivantes :

- Stratégie 1 : nous considérons la même stratégie développée, mais avec un délai de rupture unique par période et non pas par fournisseur.
- Stratégie 2 : nous considérons une stratégie classique où le service d'approvisionnement achète une quantité fixe S par période sans prendre en considération l'état du stock.
- Stratégie 3 : nous considérons la même stratégie développée, mais avec un approvisionnement uniquement du fournisseur le moins cher du marché.
- Stratégie 4 : nous considérons la même stratégie développée, mais avec un approvisionnement uniquement du fournisseur le plus rapide en termes de délais d'approvisionnement.

Les différentes stratégies ont été codées sur Matlab et pour $U = (10, \dots, 100)$, nous calculons le coût moyen de notre stratégie ainsi que les 4 autres stratégies en utilisant la moyenne empirique de 10000 réalisations indépendantes de la demande $(d_1^i, \dots, d_{12}^i)_{1 \leq i \leq 10000}$. La figure 5.6 montre une comparaison des coûts entre les différentes stratégies.

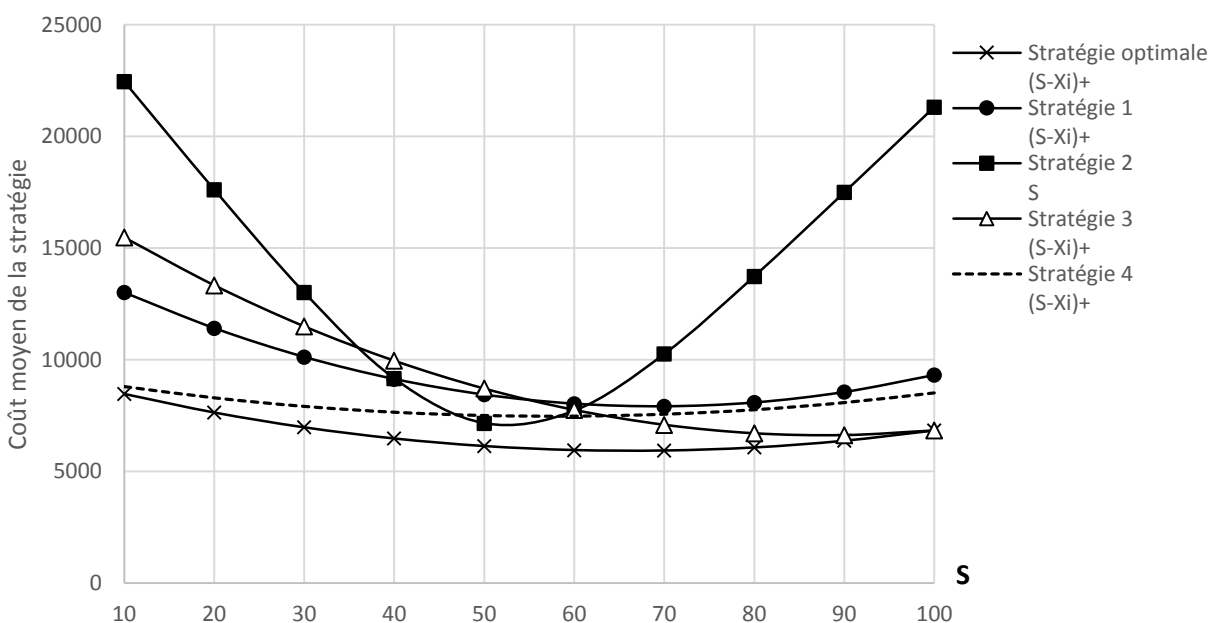


Figure 5.6 : Comparaison des coûts moyens des stratégies

Nous pouvons remarquer que la règle d'approvisionnement optimale est de $(70 - X_i)^+$ et que le coût de la stratégie optimale est toujours inférieur aux autres stratégies. Ainsi la stratégie développée est la plus adaptée aux problèmes d'approvisionnement dans l'environnement industriel actuel.

Nous allons également présenter le comportement de la stratégie optimale d'approvisionnement en fonction des coûts unitaires de stockage et de rupture. Pour cela, nous considérons que le coût unitaire de rupture b varie en fonction du coût unitaire de stockage h entre $b = 1h$ et $b = 10h$. Nous gardons le même coût unitaire de stockage ($h=1$). La stratégie optimale S^* a pour objectif d'atteindre un niveau de stock X_i^* au début de chaque période i tel que :

$$S^* = (X_i^* - X_i)^+ \text{ pour } i = 1, \dots, 12$$

Le tableau 5.4 présente le niveau de stock X_i^* à atteindre par période en fonction du coût unitaire de rupture b .

Tableau 5.4 : Comportement du niveau de stock à atteindre en fonction du coût unitaire de rupture

$b=$	h	$2h$	$3h$	$4h$	$5h$	$6h$	$7h$	$8h$	$9h$	$10h$
$X_i^* (i=1, \dots, 11)$	50	60	70	70	70	80	80	80	80	80
X_{12}^*	40	40	50	50	60	60	60	60	60	70

Nous remarquons une augmentation du niveau de stock à atteindre au début de chaque période en fonction du coût unitaire de rupture. Ce résultat vient du fait que plus la pénalité liée à la rupture augmente, plus il faudra éviter cette rupture en augmentant le stock disponible à chaque période.

Nous remarquons aussi que parfois b augmente, mais le niveau de stock à atteindre par période reste le même. Cela vient du fait que même si la valeur du coût unitaire de stockage b change, les quantités (u_k^1, \dots, u_k^F) qui vérifient la condition d'optimalité de la fonction $T_k^{*S}(i)$ restent inchangées.

Enfin, nous effectuons une étude comparative des coûts optimaux des différentes stratégies présentées auparavant en fonction des coûts unitaires de stockage et de rupture. Pour cela nous calculons le coût optimal de chacune des stratégies d'approvisionnement en utilisant un coût unitaire de rupture variant entre $b=h$ et $b=10h$. La figure 5.7 montre une comparaison des coûts entre les différentes stratégies.

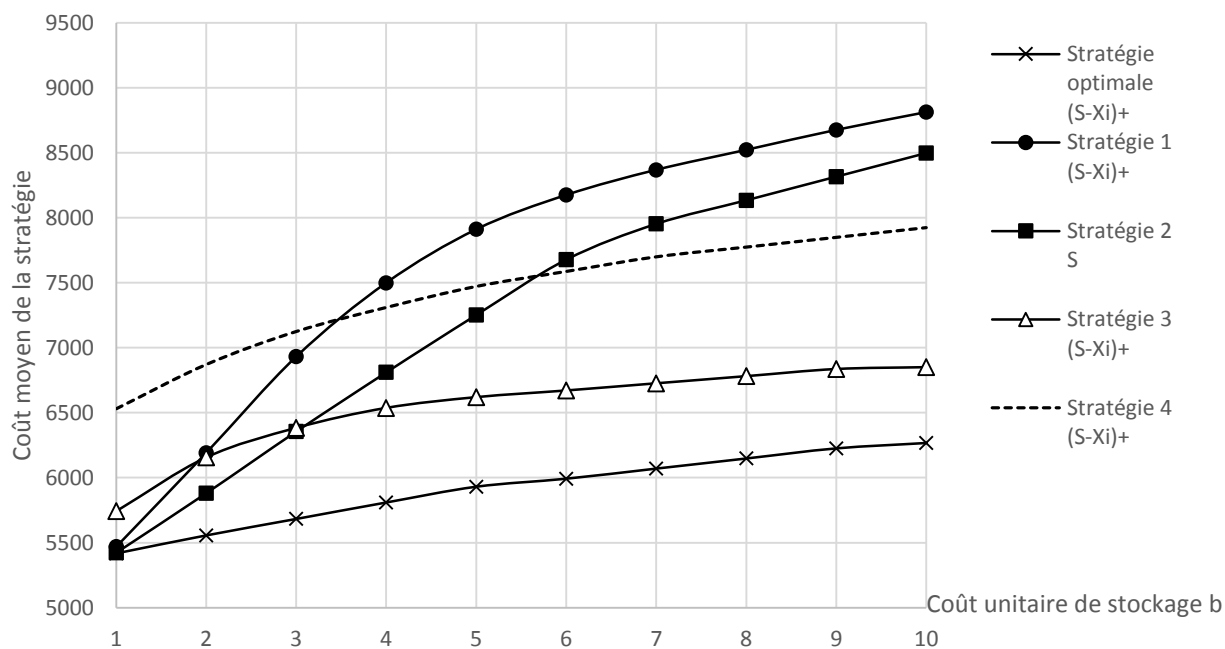


Figure 5.7 : Comparaison des coûts moyens des stratégies

Les résultats montrent que la stratégie optimale d'approvisionnement développée a le coût d'approvisionnement le plus faible parmi toutes les autres stratégies d'approvisionnement.

5.7 Conclusion

Dans un contexte industriel caractérisé par une volatilité de la demande et des variations dans l'approvisionnement, les entreprises intensifient leurs efforts pour satisfaire davantage leurs clients.

L'une des problématiques actuelles est la gestion des approvisionnements dans un environnement industriel instable et incertain. Pour faire face à cela, les entreprises revoient leur stratégie d'approvisionnement pour réduire leurs coûts opérationnels.

Dans cette optique, nous avons situé notre problématique par rapport aux travaux antérieurs, et finalement nous avons identifié les aspects, à notre connaissance, qui n'ont pas été abordés dans la littérature et qui exigent plus de recherche : l'approvisionnement multifournisseurs basé sur les coûts et sur les délais

Nous avons présenté dans la section 5.2 la stratégie proposée dans le cas d'une chaîne d'approvisionnement à deux niveaux qui peut être approvisionnée par plusieurs fournisseurs candidats et sur plusieurs périodes. L'objectif étant de déterminer les quantités à réserver et à

s'approvisionner par fournisseur et par période tout en minimisant le coût moyen sur toutes les périodes.

À la section 5.3, nous avons présenté une formulation détaillée du problème d'approvisionnement multifournisseurs et multipériodes. Nous avons montré que l'optimalité du problème d'approvisionnement est atteinte par une stratégie composée de règles markoviennes à chaque période.

Pour réduire la complexité de la fonction objectif du problème d'approvisionnement, une approche de résolution en 2 étapes a été présentée à la section 5.4. Cette approche résulte d'une démarche de programmation dynamique stochastique en nombre entier pour ramener le problème d'optimisation sur K périodes à K problèmes d'optimisation sur une période et pour résoudre ces derniers, un algorithme de programmation linéaire en nombres entiers a été utilisé.

Finalement, pour montrer la pertinence de la stratégie par rapport à l'objectif du problème d'approvisionnement (minimiser l'espérance du coût) et valider l'approche de résolution, nous avons proposé à la section 5.5 une étude de cas d'une chaîne logistique à deux niveaux. Une étude comparative entre la stratégie développée et plusieurs autres stratégies a été effectuée à la section 5.6.

La stratégie optimale développée nous a permis d'obtenir un coût inférieur à ceux générés par les autres stratégies, ce qui nous a permis de valider l'hypothèse de la prise en considération des critères liés aux délais pour augmenter la compétitivité de l'entreprise émise au début de ce chapitre. Dans le but d'élargir le cadre de la stratégie développée, plusieurs perspectives seront discutées dans le chapitre 6.

CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le besoin de satisfaire une clientèle de plus en plus exigeante dans un environnement industriel caractérisé par une volatilité de la demande et des variations dans l'approvisionnement est la base de la genèse de l'agilité dans la chaîne logistique.

Dans ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés à trouver une manière pertinente d'intégrer les principes de la gestion agile au sein des chaînes logistiques aéronautiques et de vérifier l'impact de ces améliorations sur la performance de la chaîne logistique.

Nous avons positionné le problème dans le chapitre 1. Celui-ci met en contexte les spécificités de l'industrie aéronautique, en intégrant les bases de la gestion de la chaîne logistique. Ces deux aspects nous ont permis de déceler les objectifs de ce travail.

Les chapitres 2 à 5 constituaient les contributions originales de cette thèse.

Avant de chercher une manière d'intégrer les principes d'agilité, il est important de comprendre la signification de ces derniers ainsi que leur applicabilité dans la chaîne logistique. Puisqu'aucun consensus n'a été pris dans la littérature à l'égard de la signification de l'agilité, nous avons proposé dans le chapitre 2 un nouveau cadre d'analyse de l'agilité dans les chaînes logistiques. Ce dernier a l'avantage de traiter les besoins d'agilité sur les trois niveaux de la chaîne logistique (coté-fournisseur, intra-organisationnel et coté-client), les objectifs répondants à ces besoins et les meilleures pratiques intégrant ces objectifs au processus de gestion de la chaîne logistique. L'analyse a été effectuée en utilisant une revue de littérature systématique entre 2001 et 2018.

L'utilité de ce cadre d'analyse est d'une part de pouvoir établir une liste exhaustive des facteurs-conducteurs, des objectifs et des leviers d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique. D'autre part, nous avons montré que la majorité des travaux se concentrent sur la flexibilité et la réactivité en ignorant d'autres aspects importants au développement de l'agilité tel que l'innovation, la résilience, la robustesse et la réactivité.

Le chapitre 3 présentait quant à lui, une nouvelle méthode d'amélioration de l'agilité de la chaîne logistique composée de 4 étapes en utilisant la démarche d'amélioration des processus PDCA, la première étape étant une évaluation du niveau d'agilité d'une chaîne logistique en développant un indicateur d'agilité IA. Le principal avantage de cette méthode en comparaison aux méthodes de

type qualitatives équivalentes souvent utilisées dans la littérature, est qu'elle prend en compte le besoin en agilité par rapport à l'environnement industriel de la chaîne logistique. Cette méthode utilise la méthode QFD pour déterminer l'importance des leviers d'améliorations face aux différents facteurs-conducteurs de l'agilité dans la chaîne logistique et est capable de faire face au comportement incertain et imprécis par l'agrégation des résultats en utilisant la logique floue. Ensuite, l'utilisation de la méthode de modélisation structurelle interprétative ISM et de la méthode de multiplication matricielle appliquée à un classement MICMAC a permis de déterminer l'ordre de choix des leviers d'amélioration par rapport à leur impact d'amélioration. La deuxième étape consiste à déterminer les actions à prendre en analysant les résultats de la première étape. La troisième étape permet de contrôler l'impact des améliorations sur la performance de la chaîne logistique et finalement la quatrième étape permet de synthétiser les meilleures pratiques d'agilité.

Dans le chapitre 4, l'application de cette méthodologie chez notre partenaire industriel a permis de recentrer l'intérêt sur deux leviers d'amélioration, « l'amélioration de la stratégie d'approvisionnement » et « l'amélioration des systèmes de gestion et d'intégration des bases de données ».

Le levier « l'amélioration de la stratégie d'approvisionnement » a été développé dans le chapitre 5. Pour cela, nous avons développé une stratégie optimale d'approvisionnement agile qui n'est pas uniquement performante au niveau économique, mais aussi réactive aux demandes changeantes des clients.

L'objectif de ce chapitre était donc de déterminer les quantités optimales à réserver auprès de chaque fournisseur et la stratégie optimale d'approvisionnement à utiliser au début de chaque période. Nous avons modélisé notre problème d'optimisation en adéquation avec les types de contrats dans le cas multifournisseur et avec la variabilité de la demande. Une approche de résolution adaptée à différentes variations de notre système a été développée en utilisant la programmation dynamique stochastique en nombres entiers.

Cette stratégie a été ensuite comparée avec différentes stratégies d'approvisionnement qui existent dans la littérature et les résultats obtenus ont montré un avantage économique lors de l'utilisation de la stratégie optimale développée.

L'originalité de notre travail réside d'un côté dans le fait que nous considérons toutes les dimensions de l'agilité développées dans notre cadre d'analyse pour évaluer le besoin réel de

l'agilité par rapport aux changements perçus dans l'environnement industriel. Cette première étape est importante dans le développement de notre approche d'amélioration de l'agilité dans la chaîne logistique. D'un autre côté, dans le fait que nous considérons un critère supplémentaire de délais d'approvisionnement dans le développement d'une stratégie optimale d'approvisionnement dans le contexte agile.

Notre travail de recherche au niveau de la méthodologie d'amélioration comporte certaines limites théoriques et pratiques :

- Elle ne permet pas de déterminer les jugements biaisés des évaluateurs, mais nous assistons les évaluateurs dans leurs jugements.
- Elle ne permet pas de valider la consistance des résultats avant le calcul de l'indice d'agilité, mais la présence du responsable du projet d'amélioration lors des entretiens semi-dirigés avec les évaluateurs permet de garder les résultats dans la même logique.
- Elle ne permet pas d'attribuer une pondération à chaque évaluateur en fonction de son expertise et son expérience puisque nous considérons que tous les évaluateurs ont la même connaissance du sujet.

Quant à la mise en application de la méthodologie au niveau d'une chaîne logistique du produit X chez notre partenaire industriel, la limite majeure concerne la non-réévaluation du niveau de l'agilité de la chaîne, afin de vérifier si le niveau souhaité est atteint ou non.

Les travaux de cette thèse ouvrent plusieurs perspectives, les pistes de recherche qui nous paraissent importantes vont concerner à la fois la méthodologie proposée et la stratégie d'approvisionnement développée.

En ce qui concerne la méthodologie d'amélioration de l'agilité :

- Elle devrait inclure une méthode pour déterminer les jugements biaisés des évaluateurs dans la détermination de l'importance des objectifs de l'agilité par rapport aux facteurs-conducteurs et des leviers d'amélioration par rapport aux objectifs,
- Elle devrait être étendue pour inclure une évaluation de la cohérence des jugements des évaluateurs, cette étape permet d'éviter un remplissage aléatoire de la matrice des relations

qui permet de déterminer les liens et les capacités d'influence et de dépendance des leviers d'amélioration,

- Elle devrait attribuer une pondération pour chaque évaluateur en fonction de son expertise et son expérience dans l'évaluation de l'agilité de la chaîne logistique,
- Elle devrait être adaptée à d'autres secteurs que le secteur manufacturier (ex. développement logiciel).

En ce qui concerne la stratégie optimale d'approvisionnement, nous l'avons développé pour pouvoir être utilisée facilement chez notre partenaire industriel. Cependant, d'autres améliorations peuvent être ajoutées pour prendre en compte la réalité de l'environnement industriel :

- Inclure la variabilité du délai d'approvisionnement.
- Inclure la dynamique de la demande dans le temps.
- Inclure la gestion de différents niveaux qualité selon le fournisseur.
- Étendre le modèle à une chaîne logistique d'assemblage avec plusieurs niveaux.
- Inclure les modalités spéciales des fournisseurs (coût de passation de commande, rabais selon la quantité approvisionnée, taille de lot, etc.).

BIBLIOGRAPHIE

- Abreu, A., & Calado, J. M. F. (2017). *Lean level on an organization assessed based on fuzzy logic*. Communication présentée à 6th International Conference on Parallel, Distributed Computing and Applications–IPDCA 2017 (August 26-27, 2017) (p. 9-21). doi:10.5121/csit.2017.71002
- Agarwal, A., Shankar, R., & Tiwari, M. K. (2006). Modeling the metrics of lean, agile and leagile supply chain: An ANP-based approach. *European Journal of Operational Research*, 173(1), 211-225. doi:10.1016/j.ejor.2004.12.005
- Agarwal, A., Shankar, R., & Tiwari, M. K. (2007). Modeling agility of supply chain. *Industrial Marketing Management*, 36(4), 443-457. doi:10.1016/j.indmarman.2005.12.004
- Aitken, J., Christopher, M., & Towill, D. (2002). Understanding, Implementing and Exploiting Agility and Leanness. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 5(1), 59-74. doi:10.1080/13675560110084139
- Al-Shboul, M. A. (2017). Infrastructure framework and manufacturing supply chain agility: the role of delivery dependability and time to market. *Supply Chain Management-an International Journal*, 22(2), 172-185. doi:10.1108/scm-09-2016-0335
- Alberts, D. S., & Hayes, R. E. (2003). Power to the Edge: Command and Control in the Information Age. *CCRP publication series*.
- Andrée-Anne, L., Samir, L., Robert, P., & Simon, T. (2015). Development of a leagile transformation methodology for product development. *Business Process Management Journal*, 21(4), 791-819. doi:doi:10.1108/BPMJ-02-2014-0009
- Aronsson, H., Abrahamsson, M., & Spens, K. (2011). Developing lean and agile health care supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(3), 176-183. doi:10.1108/13598541111127164
- Arteta, B. M., & Giachetti, R. E. (2004). A measure of agility as the complexity of the enterprise system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20(6), 495-503. doi:10.1016/j.rcim.2004.05.008

- Baker, P. (2006). Designing distribution centres for agile supply chains. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 9(3), 207-221. doi:10.1080/13675560600859136
- Baker, P. (2008). The design and operation of distribution centres within agile supply chains. *International Journal of Production Economics*, 111(1), 27-41. doi:10.1016/j.ijpe.2006.09.019
- Balaji, M., Velmurugan, V., & Subashree, C. (2015). TADS: An assessment methodology for agile supply chains. *Journal of Applied Research and Technology*, 13(5), 504-509. doi:10.1016/j.jart.2015.10.002
- Baramichai, M., Zimmers, E. W., & Marangos, C. A. (2007). Agile supply chain transformation matrix: an integrated tool for creating an agile enterprise. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(5), 334-348. doi:10.1108/13598540710776917
- Bellman, R. (1954). The theory of dynamic programming. *Bull. Amer. Math. Soc.*, 60(6), 503-515. Tiré de <https://projecteuclid.org:443/euclid.bams/1183519147>
- Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 17(4), B141-B164. Tiré de <http://www.jstor.org/stable/2629367>
- Ben Naylor, J., Naim, M. M., & Berry, D. (1999). Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. *International Journal of Production Economics*, 62(1), 107-118. doi:10.1016/S0925-5273(98)00223-0
- Berger, P. D., & Zeng, A. Z. (2006). Single versus multiple sourcing in the presence of risks. *Journal of the Operational Research Society*, 57(3), 250-261. doi:10.1057/palgrave.jors.2601982
- Bhattacharya, S., Gupta, A., & Hasija, S. (2012). *Single Sourcing Versus Multisourcing: The Role of Effort Interdependence, Metric-Outcome Misalignment, and Incentive Design*.
- Bhosale, V. A., & Kant, R. (2016). An integrated ISM fuzzy MICMAC approach for modelling the supply chain knowledge flow enablers. *International Journal of Production Research*, 54(24), 7374-7399. doi:10.1080/00207543.2016.1189102

- Blome, C., Schoenherr, T., & Rexhausen, D. (2013). Antecedents and enablers of supply chain agility and its effect on performance: a dynamic capabilities perspective. *International Journal of Production Research*, 51(4), 1295-1318. doi:10.1080/00207543.2012.728011
- Bottani, E. (2009). A fuzzy QFD approach to achieve agility. *International Journal of Production Economics*, 119(2), 380-391. doi:10.1016/j.ijpe.2009.02.013
- Bottani, E. (2010). Profile and enablers of agile companies: An empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 125(2), 251-261. doi:10.1016/j.ijpe.2010.02.016
- Bou-Llugar, J. C., Escrig-Tena, A. B., Roca-Puig, V., & Beltrán-Martín, I. (2009). An empirical assessment of the EFQM Excellence Model: Evaluation as a TQM framework relative to the MBNQA Model. *Journal of Operations Management*, 27(1), 1-22. doi:10.1016/j.jom.2008.04.001
- Bouchriha, H. (2002). *Faire ou faire-faire dans la conception d'une chaine logistique : un outil d'aide à la décision*. (Thèse de doctorat , Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France). Tiré de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00198302>
- Braunscheidel, M. J., & Suresh, N. C. (2009). The organizational antecedents of a firm's supply chain agility for risk mitigation and response. *Journal of Operations Management*, 27(2), 119-140. doi:10.1016/j.jom.2008.09.006
- Brusset, X. (2016). Does supply chain visibility enhance agility? *International Journal of Production Economics*, 171, 46-59. doi:10.1016/j.ijpe.2015.10.005
- Burke, G. J., Carrillo, J. E., & Vakharia, A. J. (2007). Single versus multiple supplier sourcing strategies. *European Journal of Operational Research*, 182(1), 95-112. doi:10.1016/j.ejor.2006.07.007
- Burke, G. J., Carrillo, J. E., & Vakharia, A. J. (2009). Sourcing Decisions with Stochastic Supplier Reliability and Stochastic Demand. *Production and Operations Management*, 18(4), 475-484. doi:10.1111/j.1937-5956.2009.01022.x
- Burnes, B., & New, S. (1996). Understanding supply chain improvement. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 2(1), 21-30. doi:10.1016/0969-7012(95)00018-6

- Cabral, I., Grilo, A., & Cruz-Machado, V. (2012). A decision-making model for Lean, Agile, Resilient and Green supply chain management. *International Journal of Production Research*, 50(17), 4830-4845. doi:10.1080/00207543.2012.657970
- Caifeng, L. (2009). Agile Supply Chain: competing in volatile markets. *Management Science and Engineering*, 3(2), 61-64.
- Chan, L.-K., & Wu, M.-L. (2002). Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143(3), 463-497. doi:[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00178-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00178-9)
- Charles, A., Lauras, M., & Van Wassenhove, L. (2010). A model to define and assess the agility of supply chains: building on humanitarian experience. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(8/9), 722-741. doi:10.1108/09600031011079355
- Chen, S.-J., & Hwang, C.-L. (1992). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods. Dans S.-J. Chen & C.-L. Hwang (édit.), *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications* (p. 289-486). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Chiang, C. Y., Kocabasoglu-Hillmer, C., & Suresh, N. (2012). An empirical investigation of the impact of strategic sourcing and flexibility on firm's supply chain agility. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(1), 49-78. doi:10.1108/01443571211195736
- Chibani, A., Delorme, X., Dolgui, A., & Pierreval, H. (2018). Dynamic optimisation for highly agile supply chains in e-procurement context. *International Journal of Production Research*, 56(17), 5904-5929. doi:10.1080/00207543.2018.1458164
- Christopher, M. (1992). *Logistics and Supply Chain Management*. London, United Kingdom: Pitman Publishing.
- Christopher, M. (2000). The agile supply chain competing in volatile market. *Industrial Marketing Management*, 29, 37-44. doi:10.1108/09600030110394914
- Christopher, M., & Denis, T. (2001). An integrated model for the design of agile supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31(4), 235-246. doi:10.1108/09600030110394914

- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the Resilient Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1-14. doi:10.1108/09574090410700275
- Cochran, J. K., & Marquez Uribe, A. (2005). A set covering formulation for agile capacity planning within supply chains. *International Journal of Production Economics*, 95(2), 139-149. doi:10.1016/j.ijpe.2003.11.014
- Collin, J., & Lorenzin, D. (2006). Plan for supply chain agility at Nokia: Lessons from the mobile infrastructure industry. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(6), 418-430. doi:10.1108/09600030610677375
- Coskun, S. (2008). A weakness determination and analysis model for business process improvement. *Business Process Management Journal*, 14(2), 243-261. doi:10.1108/14637150810864961
- Costantino, N., Dotoli, M., Falagario, M., Fanti, M. P., & Mangini, A. M. (2012). A model for supply management of agile manufacturing supply chains. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 451-457. doi:10.1016/j.ijpe.2011.08.021
- Dayi, O., & Mascle, C. (2015). Méthodologie d'amélioration leagile de la chaîne logistique. *11e Congrès International de Génie Industriel, Québec, Canada*.
- DeGroote, S. E., & Marx, T. G. (2013). The impact of IT on supply chain agility and firm performance: An empirical investigation. *International Journal of Information Management*, 33(6), 909-916. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2013.09.001
- Dominguez, H., & Lashkari, R. S. (2004). Model for integrating the supply chain of an appliance company: a value of information approach. *International Journal of Production Research*, 42(11), 2113-2140. doi:10.1080/00207540410001666297
- Dove, R., Nagel, R. N., Goldman, S., & Preiss, K. (1991). *21st century manufacturing enterprise strategy : an industry led view*. Bethlehem, PA, USA: Iacocca Institute.
- Drake, P. R., Myung Lee, D., & Hussain, M. (2013). The lean and agile purchasing portfolio model. *Supply Chain Management: An International Journal*, 18(1), 3-20. doi:10.1108/13598541311293140

- Dresch, A., Lacerda, D., & Antônio Valle Antunes Jr, J. (2014). *Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement*.
- Dubey, R., Altay, N., Gunasekaran, A., Blome, C., Papadopoulos, T., & Childe, S. J. (2018). Supply chain agility, adaptability and alignment: Empirical evidence from the Indian auto components industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 38(1), 129-148. doi:10.1108/IJOPM-04-2016-0173
- Dubey, R., & Gunasekaran, A. (2016). The sustainable humanitarian supply chain design: agility, adaptability and alignment. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(1), 62-82. doi:10.1080/13675567.2015.1015511
- Dubuisson-Quellier, S., Plessz, M., Nicol, C., & Wilmotte, A. (2013). Une méthodologie pour la constitution d'une bibliographie. *Sociologie [En ligne]*, 4(4). Tiré de <http://journals.openedition.org/sociologie/2040>
- Duperrin, J.-C., & Godet, M. (1974). *Prospective des systèmes: une nouvelle méthode d'impacts croisés SMIC 74*.
- Dwayne Whitten, G., Green, K. W., & Zelbst, P. J. (2012). Triple-A supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(1), 28-48. doi:10.1108/01443571211195727
- Dyer, J., Cho, d. s., & Chu, W. (1998). Strategic Supplier Segmentation: The Next "Best Practice" In Supply Chain Management. *California Management Review*, 40(2), 57-77. doi:10.2307/41165933
- Eckstein, D., Goellner, M., Blome, C., & Henke, M. (2015). The performance impact of supply chain agility and supply chain adaptability: the moderating effect of product complexity. *International Journal of Production Research*, 53(10), 3028-3046. doi:10.1080/00207543.2014.970707
- Erande, A., & Verma, A. (2008). Measuring Agility of Organizations – A Comprehensive Agility Measurement Tool (CAMT). *International journal of applied management and technology*, 6(3). Tiré de <https://search.proquest.com/docview/1722190338?accountid=40695>
- Fayezi, S., Zutshi, A., & O'Loughlin, A. (2015). How Australian manufacturing firms perceive and understand the concepts of agility and flexibility in the supply chain. *International Journal*

- of Operations & Production Management*, 35(2), 246-281. doi:10.1108/IJOPM-12-2012-0546
- Fayezi, S., Zutshi, A., & O'Loughlin, A. (2017). Understanding and Development of Supply Chain Agility and Flexibility: A Structured Literature Review. *International Journal of Management Reviews*, 19(4), 379-407. doi:10.1111/ijmr.12096
- Fisch, C., & Block, J. (2018). Six tips for your (systematic) literature review in business and management research. *Management Review Quarterly*, 2(68), 103-106.
- Fliedner, G., & Vokurka, R. J. (1997). Agility: Competitive weapon of the 1990s and beyond? *Production and Inventory Management Journal*, 38(3), 19-24. Tiré de <https://search.proquest.com/docview/199908635?accountid=40695>
- Francois, J. (2007). *Planification des chaines logistiques : modélisation du système décisionnel et performance*. (Thèse de doctorat, Université Sciences et Technologies - Bordeaux I, Bordeaux, France). Tiré de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00267825>
- Galankashi, M. R., & Helmi, S. A. (2016). Assessment of hybrid Lean-Agile (Leagile) supply chain strategies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(4), 470-482. doi:10.1108/JMTM-08-2015-0069
- Galasso, F. (2007). *Aide à la planification dans les chaînes logistiques en présence de demande flexible*. (Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, France). Tiré de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00149437>
- Gaudenzi, B., & Christopher, M. (2016). Achieving supply chain 'Leagility' through a project management orientation. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(1), 3-18. doi:10.1080/13675567.2015.1073234
- Gautam, S., LeBel, L., & Beaudoin, D. (2013). Agility capabilities in wood procurement systems: a literature synthesis. *International Journal of Forest Engineering*, 24(3), 216-232. doi:10.1080/14942119.2013.851367
- Genin, P. (2003). *Planification tactique robuste avec usage d'un A.P.S – Proposition d'un mode de gestion par plan de référence*. (Thèse de doctorat, École des Mines, Paris, France).

- Geunes, J., & Chang, B. (2009). Operations research models for supply chain management and design Operations Research Models for Supply Chain Management and Design. Dans A. C. Floudas & M. P. Pardalos (édit.), *Encyclopedia of Optimization* (p. 2704-2715). Boston, MA: Springer US.
- Giachetti, R. E., Martinez, L. D., Sáenz, O. A., & Chen, C.-S. (2003). Analysis of the structural measures of flexibility and agility using a measurement theoretical framework. *International Journal of Production Economics*, 86(1), 47-62. doi:[10.1016/S0925-5273\(03\)00004-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00004-5)
- Gligor, D. M. (2014). The role of demand management in achieving supply chain agility. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(5/6), 577-591. doi:10.1108/SCM-10-2013-0363
- Gligor, D. M. (2016). The Role of Supply Chain Agility in Achieving Supply Chain Fit. *Decision Sciences*, 47(3), 524-553. doi:10.1111/deci.12205
- Gligor, D. M., Esmark, C. L., & Holcomb, M. C. (2015). Performance outcomes of supply chain agility: When should you be agile? *Journal of Operations Management*, 33-34, 71-82. doi:[10.1016/j.jom.2014.10.008](https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.10.008)
- Gligor, D. M., & Holcomb, M. C. (2012a). Antecedents and Consequences of Supply Chain Agility: Establishing the Link to Firm Performance. *Journal of Business Logistics*, 33(4), 295-308. doi:10.1111/jbl.12003
- Gligor, D. M., & Holcomb, M. C. (2012b). Understanding the role of logistics capabilities in achieving supply chain agility: a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(4), 438-453. doi:10.1108/13598541211246594
- Gligor, D. M., & Holcomb, M. C. (2014). The road to supply chain agility: an RBV perspective on the role of logistics capabilities. *The International Journal of Logistics Management*, 25(1), 160-179. doi:10.1108/IJLM-07-2012-0062
- Gligor, D. M., Holcomb, M. C., & Feizabadi, J. (2016). An exploration of the strategic antecedents of firm supply chain agility: The role of a firm's orientations. *International Journal of Production Economics*, 179, 24-34. doi:[10.1016/j.ijpe.2016.05.008](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.05.008)

- Gligor, D. M., Holcomb, M. C., & Stank, T. P. (2013). A Multidisciplinary Approach to Supply Chain Agility: Conceptualization and Scale Development. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 94-108. doi:10.1111/jbl.12012
- Glock, C. H. (2011). A multiple-vendor single-buyer integrated inventory model with a variable number of vendors. *Computers & Industrial Engineering*, 60(1), 173-182. doi:[10.1016/j.cie.2010.11.001](https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.11.001)
- Glock, C. H. (2012). Single sourcing versus dual sourcing under conditions of learning. *Computers & Industrial Engineering*, 62(1), 318-328. doi:[10.1016/j.cie.2011.10.002](https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.10.002)
- Goldman, S. L., Nagel, R. N., & Preiss, K. (1995). *Agile competitors and virtual organizations: strategies for enriching the customer* (vol. 8): New York, USA: Van Nostrand Reinhold.
- Goldsby, T. J., Griffis, S. E., & Roath, A. S. (2006). Modeling Lean, Agile, AND Leagile supply chain strategies. *Journal of Business Logistics*, 27(1), 57-80. doi:10.1002/j.2158-1592.2006.tb00241.x
- Govindan, K., Popiuc, M. N., & Diabat, A. (2013). Overview of coordination contracts within forward and reverse supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 47, 319-334. doi:[10.1016/j.jclepro.2013.02.001](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.001)
- Guesgen, H. W., & Albrecht, J. (2000). Imprecise reasoning in geographic information systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 113(1), 121-131. doi:[10.1016/S0165-0114\(99\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(99)00016-0)
- Guh, Y.-Y., Po, R.-W., & Lee, E. S. (2008). The fuzzy weighted average within a generalized means function. *Computers & Mathematics with Applications*, 55(12), 2699-2706. doi:<https://doi.org/10.1016/j.camwa.2007.09.009>
- Gunasekaran, A. (1999). Agile manufacturing: A framework for research and development. *International Journal of Production Economics*, 62(1), 87-105. doi:[10.1016/S0925-5273\(98\)00222-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00222-9)
- Gunasekaran, A., & Kobu, B. (2007). Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: a review of recent literature (1995–2004) for research and applications. *International Journal of Production Research*, 45(12), 2819-2840. doi:10.1080/00207540600806513

- Hammami, A. (2003). *Modélisation technico-économique d'une chaîne logistique dans une entreprise réseau*. (Université Laval, Québec).
- Harrington, H. J. (1991). *Business process improvement: The breakthrough strategy for total quality, productivity, and competitiveness*: McGraw Hill Professional.
- Herer, Y. T., Tzur, M., & Yücesan, E. (2002). Transshipments: An emerging inventory recourse to achieve supply chain leagility. *International Journal of Production Economics*, 80(3), 201-212. doi:[10.1016/S0925-5273\(02\)00254-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00254-2)
- Hofman, D., & Cecere, L. (2005). The Agile Supply Chain. *Supply Chain Management Review*, 9(8), 18-19. Tiré de <https://search.proquest.com/docview/221236167?accountid=40695>
- Holsapple, C. W., & Jin, H. (2007). Ecommerce - "Connecting Some Dots: E-Commerce, Supply Chains, and Collaborative Decision Making,". *Decision line*, 38(5), 14-21.
- Hwang, F. P., Chen, S. J., & Hwang, C. L. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*: Heidelberg, Germany: Springer Berlin.
- Ismail, H. S., & Sharifi, H. (2006). A balanced approach to building agile supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(6), 431-444. doi:[10.1108/09600030610677384](https://doi.org/10.1108/09600030610677384)
- Ivanov, D. (2010). Conceptual Frameworks for Supply Chain Management. Dans *Adaptive Supply Chain Management* (p. 19-33). London: Springer London.
- Jackson, M., & Johansson, C. (2003). An agility analysis from a production system perspective. *Integrated Manufacturing Systems*, 14(6), 482-488. doi:[10.1108/09576060310491342](https://doi.org/10.1108/09576060310491342)
- Jain, V., Benyoucef, L., & Deshmukh, S. G. (2008a). A new approach for evaluating agility in supply chains using Fuzzy Association Rules Mining. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21(3), 367-385. doi:[10.1016/j.engappai.2007.07.004](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2007.07.004)
- Jain, V., Benyoucef, L., & Deshmukh, S. G. (2008b). What's the buzz about moving from 'lean' to 'agile' integrated supply chains? A fuzzy intelligent agent-based approach. *International Journal of Production Research*, 46(23), 6649-6677. doi:[10.1080/00207540802230462](https://doi.org/10.1080/00207540802230462)
- Johnson, C. N. (2016). The benefits of PDCA. *Quality Progress*, 49(1), 45. Tiré de <https://search.proquest.com/docview/1762043658?accountid=40695>

- Kaddoussi, A. (2012). Optimisation des flux logistiques : vers une gestion avancée de la situation de crise. *Thèse de doctorat, École Centrale, Lille, France*. Tiré de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00801728>
- Kandasamy, W. V., Smarandache, F., & Ilanthenral, K. (2007). *Elementary fuzzy matrix theory and fuzzy models for social scientists*: Infinite Study.
- Kao, C., & Liu, S.-T. (2001). Fractional programming approach to fuzzy weighted average. *Fuzzy Sets and Systems*, 120(3), 435-444. doi:[10.1016/S0165-0114\(99\)00137-2](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(99)00137-2)
- Katayama, H., & Bennett, D. (1999). Agility, adaptability and leanness: A comparison of concepts and a study of practice. *International Journal of Production Economics*, 60-61, 43-51. doi:[10.1016/S0925-5273\(98\)00129-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00129-7)
- Kettunen, P. (2012). Systematizing Software-Development Agility: Toward an Enterprise Capability Improvement Framework. *Journal of Enterprise Transformation*, 2(2), 81-104. doi:[10.1080/19488289.2012.664610](https://doi.org/10.1080/19488289.2012.664610)
- Khan K, A., Bakkappa, B., Metri, B. A., & Sahay, B. S. (2009). Impact of agile supply chains' delivery practices on firms' performance: cluster analysis and validation. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(1), 41-48. doi:[10.1108/13598540910927296](https://doi.org/10.1108/13598540910927296)
- Kidd, P. T. (1995). Agile manufacturing: a strategy for the 21st century. *Agile Manufacturing, IEE Colloquium*(Coventry).
- Kilubi, I. (2016). The strategies of supply chain risk management – a synthesis and classification. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(6), 604-629. doi:[10.1080/13675567.2016.1150440](https://doi.org/10.1080/13675567.2016.1150440)
- Kim, M., & Chai, S. (2017). The impact of supplier innovativeness, information sharing and strategic sourcing on improving supply chain agility: Global supply chain perspective. *International Journal of Production Economics*, 187, 42-52. doi:[10.1016/j.ijpe.2017.02.007](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.007)
- Kisperska-Moron, D., & de Haan, J. (2011). Improving supply chain performance to satisfy final customers: “Leagile” experiences of a polish distributor. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 127-134. doi:[10.1016/j.ijpe.2009.12.013](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.12.013)

- Kisperska-Moron, D., & Swierczek, A. (2009). The agile capabilities of Polish companies in the supply chain: An empirical study. *International Journal of Production Economics*, 118(1), 217-224. doi:[10.1016/j.ijpe.2008.08.019](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.019)
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *Keele University and University of Durham, UK*.
- Kleindorfer, P. R., & Saad, G. H. (2005). Managing Disruption Risks in Supply Chains. *Production and Operations Management*, 14(1), 53-68. doi:[10.1111/j.1937-5956.2005.tb00009.x](https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2005.tb00009.x)
- Kumar, V., Mishra, N., Chan, F. T. S., & Verma, A. (2011). Managing warehousing in an agile supply chain environment: an F-AIS algorithm based approach. *International Journal of Production Research*, 49(21), 6407-6426. doi:[10.1080/00207543.2010.528057](https://doi.org/10.1080/00207543.2010.528057)
- Lawler, E. L., & Wood, D. E. (1966). Branch-and-bound methods: A survey. *Operations research*, 14(4), 699-719.
- Lee, D. H., & Park, D. (1997). An efficient algorithm for fuzzy weighted average. *Fuzzy Sets and Systems*, 87(1), 39-45. doi:[10.1016/S0165-0114\(96\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(96)00027-9)
- Lee, H. L. (2004). The triple-A supply chain. *Harvard business review*, 82(10), 102-113. Tiré de <https://hbr.org/2004/10/the-triple-a-supply-chain>
- Lee, H. L., & Billington, C. (1993). Material management in decentralized supply chains. *Operations Research*, 41(5), 835-847. doi:[10.1287/opre.41.5.835](https://doi.org/10.1287/opre.41.5.835)
- Lemieux, A.-A., Pellerin, R., Lamouri, S., & Carbone, V. (2012). A new analysis framework for agility in the fashion industry. *International Journal of Agile Systems and Management*, 5(2), 175-197. doi:[10.1504/IJASM.2012.046904](https://doi.org/10.1504/IJASM.2012.046904)
- Li, G., Lin, Y., Wang, S., & Yan, H. (2006). Enhancing agility by timely sharing of supply information. *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(5), 425-435. doi:[10.1108/13598540610682444](https://doi.org/10.1108/13598540610682444)
- Li, X., Chung, C., Goldsby, T. J., & Holsapple, C. W. (2008). A unified model of supply chain agility: the work-design perspective. *International Journal of Logistics Management*, 19(3), 408-435. doi:[10.1108/09574090810919224](https://doi.org/10.1108/09574090810919224)

- Li, X., Goldsby, T. J., & Holsapple, C. W. (2009). Supply chain agility: scale development. *The International Journal of Logistics Management*, 20(3), 408-424. doi:10.1108/09574090911002841
- Lin, C.-T., Chiu, H., & Chu, P.-Y. (2006). Agility index in the supply chain. *International Journal of Production Economics*, 100(2), 285-299. doi:[10.1016/j.ijpe.2004.11.013](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.11.013)
- Lineberger, R. (2018). On a solid profitable growth path. 2018 Global aerospace and defense industry outlook. Tiré de <https://deloitte.com/global/en/pages/manufacturing/articles/global-a-and-d-outlook.html>
- Lummus, R. R., & Vokurka, R. J. (1999). Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 99(1), 11-17.
- MacLean, H. L., & Lave, L. B. (1998). A life-cycle model of an automobile. *Environmental Science & Technology*, 32(13), 322A-330A. doi:10.1021/es9836242
- Martínez-de-Albéniz, V., & Simchi-Levi, D. (2005). A Portfolio Approach to Procurement Contracts. *Production and Operations Management*, 14(1), 90-114. doi:10.1111/j.1937-5956.2005.tb00012.x
- Maruta, R. (2012). Maximizing Knowledge Work Productivity: A Time Constrained and Activity Visualized PDCA Cycle. *Knowledge and Process Management*, 19(4), 203-214. doi:10.1002/kpm.1396
- Mary, M. W. (2002). Measuring supply chain agility in the virtual organization. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(7), 577-590. doi:10.1108/09600030210442595
- Mason-Jones, R., Naylor, B., & Towill, D. R. (2000a). Engineering the leagile supply chain. *International Journal of Agile Management Systems*, 2(1), 54-61. doi:10.1108/14654650010312606
- Mason-Jones, R., Naylor, B., & Towill, D. R. (2000b). Lean, agile or leagile? Matching your supply chain to the marketplace. *International Journal of Production Research*, 38(17), 4061-4070. doi:10.1080/00207540050204920

- Mason, S. J., Cole, M. H., Ulrey, B. T., & Yan, L. (2002). Improving electronics manufacturing supply chain agility through outsourcing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(7), 610-620. doi:10.1108/09600030210442612
- Mehralian, G., Zarenezhad, F., & Rajabzadeh Ghatari, A. (2015). Developing a model for an agile supply chain in pharmaceutical industry. *International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing*, 9(1), 74-91. doi:10.1108/IJPHM-09-2013-0050
- Minner, S. (2003). Multiple-supplier inventory models in supply chain management: A review. *International Journal of Production Economics*, 81-82, 265-279. doi:[10.1016/S0925-5273\(02\)00288-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00288-8)
- Naim, M. M., & Gosling, J. (2011). On leanness, agility and leagile supply chains. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 342-354. doi:[10.1016/j.ijpe.2010.04.045](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.045)
- Narasimhan, K. (2002). The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance. *The TQM Magazine*, 14(4), 263-264. doi:10.1108/tqmm.2002.14.4.263.1
- Narayanan, S., Narasimhan, R., & Schoenherr, T. (2015). Assessing the contingent effects of collaboration on agility performance in buyer–supplier relationships. *Journal of Operations Management*, 33-34, 140-154. doi:[10.1016/j.jom.2014.11.004](https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.11.004)
- Oh, S., Ryu, K., & Jung, M. (2013). Reconfiguration framework of a supply network based on flexibility strategies. *Computers & Industrial Engineering*, 65(1), 156-165. doi:[10.1016/j.cie.2011.11.016](https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.11.016)
- Oke, A., & Gopalakrishnan, M. (2009). Managing disruptions in supply chains: A case study of a retail supply chain. *International Journal of Production Economics*, 118(1), 168-174. doi:[10.1016/j.ijpe.2008.08.045](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.045)
- Oloruntoba, R., & Gray, R. (2006). Humanitarian aid: an agile supply chain? *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(2), 115-120. doi:10.1108/13598540610652492
- Oloruntoba, R., & Kovács, G. (2015). A commentary on agility in humanitarian aid supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(6), 708-716. doi:10.1108/SCM-06-2015-0244

- Ou Yang, Y.-P., Shieh, H.-M., & Tzeng, G.-H. (2013). A VIKOR technique based on DEMATEL and ANP for information security risk control assessment. *Information Sciences*, 232, 482-500. doi:[10.1016/j.ins.2011.09.012](https://doi.org/10.1016/j.ins.2011.09.012)
- Pandey, V. C., & Garg, S. (2009). Analysis of interaction among the enablers of agility in supply chain. *Journal of Advances in Management Research*, 6(1), 99-114. doi:[10.1108/09727980910972190](https://doi.org/10.1108/09727980910972190)
- Parthasarthy, R., & Sethi, S. P. (1992). The Impact of Flexible Automation on Business Strategy and Organizational Structure. *The Academy of Management Review*, 17(1), 86-111. doi:[10.2307/258649](https://doi.org/10.2307/258649)
- PIPAME, P. i. d. p. e. d. a. d. m. é.-. (2009). Etude de la chaine de valeur dans l'industrie aeronautique. Tiré de <http://archives.entreprises.gouv.fr>
- Power, D. J., Sohal, A. S., & Rahman, S.-U. (2001). Critical success factors in agile supply chain management an empirical study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31(4), 247-265. doi:[10.1108/09600030110394923](https://doi.org/10.1108/09600030110394923)
- Prater, E., Biehl, M., & Smith, M. A. (2001). International supply chain agility - Tradeoffs between flexibility and uncertainty. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(5/6), 823-839. doi:[10.1108/01443570110390507](https://doi.org/10.1108/01443570110390507)
- Prince, J., & Kay, J. M. (2003). Combining lean and agile characteristics: Creation of virtual groups by enhanced production flow analysis. *International Journal of Production Economics*, 85(3), 305-318. doi:[10.1016/S0925-5273\(03\)00118-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00118-X)
- Purvis, L., Gosling, J., & Naim, M. M. (2014). The development of a lean, agile and leagile supply network taxonomy based on differing types of flexibility. *International Journal of Production Economics*, 151, 100-111. doi:[10.1016/j.ijpe.2014.02.002](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.002)
- Qamar, A., & Hall, M. (2018). Can Lean and Agile organisations within the UK automotive supply chain be distinguished based upon contextual factors? *Supply Chain Management: An International Journal*, 23(3), 239-254. doi:[10.1108/SCM-05-2017-0185](https://doi.org/10.1108/SCM-05-2017-0185)
- Rahimnia, F., & Moghadasian, M. (2010). Supply chain leagility in professional services: how to apply decoupling point concept in healthcare delivery system. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(1), 80-91. doi:[10.1108/13598541011018148](https://doi.org/10.1108/13598541011018148)

- Rao, S., & Goldsby, T. J. (2009). Supply chain risks: a review and typology. *The International Journal of Logistics Management*, 20(1), 97-123. doi:10.1108/09574090910954864
- Ravix, J. T., & Mouchnino, N. (2009). L'évolution de l'industrie aéronautique : les incidences de la production modulaire. *La Revue de l'Ires*, 62(3), 135-157. doi:10.3917/rdli.062.0135
- Reynolds, R. (2001). Improve the bottom line with supply chain management. *Business Times* Tiré de <http://www.costflexrisk.com/thought-leadership-blog>
- Rezaei, J., & Davoodi, M. (2011). Multi-objective models for lot-sizing with supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 130(1), 77-86. doi:10.1016/j.ijpe.2010.11.017
- Rico, D. F. (2010). Lean and Agile Project Management: For Large Programs and Projects. *Proceedings of the First International Conference on Lean Enterprise Software and Systems, Helsinki, Finland*, 37-43.
- Rota, K. (1998). *Coordination temporelle de centres gérant de façon autonome des ressources. Application aux chaînes logistiques intégrées en aéronautique*. (Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, Toulouse, France).
- Roy, G. (2018). Airbus redéfinit la segmentation du marché des avions commerciaux. Tiré de <https://aerobuzz.fr/transport-aerien/airbus-redefinit-la-segmentation-du-marche-des-avions-commerciaux/>
- Sabaghi, M., Mascle, C., Baptiste, P., & Rostamzadeh, R. (2016). Sustainability assessment using fuzzy-inference technique (SAFT): A methodology toward green products. *Expert Systems with Applications*, 56, 69-79. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.02.038>
- Sabu, K., & Krishnankutty, K. V. (2014). A comparative study on performance of manufacturing systems from an agility perspective using simulation. *International Journal of Modelling in Operations Management*, 4(3-4), 145-169. doi:10.1504/ijmom.2014.067368
- Samantra, C., Datta, S., Mishra, S., & Mahapatra, S. S. (2013). Agility appraisal for integrated supply chain using generalized trapezoidal fuzzy numbers set. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(5), 1491-1503. doi:10.1007/s00170-013-4937-6

- Sangari, M. S., & Razmi, J. (2015). Business intelligence competence, agile capabilities, and agile performance in supply chain: An empirical study. *The International Journal of Logistics Management*, 26(2), 356-380. doi:10.1108/IJLM-01-2013-0012
- Sangari, M. S., Razmi, J., & Zolfaghari, S. (2015). Developing a practical evaluation framework for identifying critical factors to achieve supply chain agility. *Measurement*, 62, 205-214. doi:[10.1016/j.measurement.2014.11.002](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.11.002)
- Santos Bernardes, E., & Hanna, M. D. (2009). A theoretical review of flexibility, agility and responsiveness in the operations management literature: Toward a conceptual definition of customer responsiveness. *International Journal of Operations & Production Management*, 29(1), 30-53. doi:10.1108/01443570910925352
- Scholten, K., Sharkey Scott, P., & Fynes, B. (2010). (Le)agility in humanitarian aid (NGO) supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(8/9), 623-635. doi:10.1108/09600031011079292
- Schön, E.-M., Thomaschewski, J., & Escalona, M. J. (2017). Agile Requirements Engineering: A systematic literature review. *Computer Standards & Interfaces*, 49, 79-91. doi:[10.1016/j.csi.2016.08.011](https://doi.org/10.1016/j.csi.2016.08.011)
- Shaarabh, M., Rishi, G., & Sharma, S. (2014). A Review on Measurement of Agility. *Industrial Engineering & Management*, 3(1).
- Sharma, N., Sahay, B. S., Shankar, R., & Sarma, P. R. S. (2017). Supply chain agility: review, classification and synthesis. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(6), 532-559. doi:10.1080/13675567.2017.1335296
- Shaw , N. E., Burgess, T. F., de Mattos, C., & Stec, L. Z. (2005). Supply chain agility: the influence of industry culture on asset capabilities within capital intensive industries. *International Journal of Production Research*, 43(16), 3497-3516. doi:10.1080/00207540500117805
- Sheffi, Y., & Rice, J. J. (2005). *A Supply Chain View of the Resilient Enterprise* (vol. 47).
- Sherehiy, B., Karwowski, W., & Layer, J. K. (2007). A review of enterprise agility: Concepts, frameworks, and attributes. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37(5), 445-460. doi:[10.1016/j.ergon.2007.01.007](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.01.007)

- Shewchuk, J. P., & Moodie, C. L. (1998). Definition and Classification of Manufacturing Flexibility Types and Measures. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 10(4), 325-349. doi:10.1023/a:1008062220281
- Siddhartha, & Sachan, A. (2016). Review of agile supply chain implementation frameworks. *Int. J. Business Performance and Supply Chain Modelling*, 8(1), 27-45. doi:10.1504/IJBPSM.2016.075999
- Silva, A. S., Medeiros, C. F., & Vieira, R. K. (2017). Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. *Journal of Cleaner Production*, 150, 324-338. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.033>
- Sokovic, M., Pavletic, D., & Pipan, K. (2010). Quality improvement methodologies - PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 43.
- Stadtler, H., & Kilger, C. (2002). *Supply chain management and advanced planning* (vol. 4): Springer.
- Stevens, J. (1989). Integrating the supply chain. *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 19(8), 3-8.
- Stratton, R., & Warburton, R. D. H. (2003). The strategic integration of agile and lean supply. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 183-198. doi:[10.1016/S0925-5273\(03\)00109-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00109-9)
- Sufian, Q., & Monideepa, T. (2013). Lean and agile supply chain strategies and supply chain responsiveness: the role of strategic supplier partnership and postponement. *Supply Chain Management: An International Journal*, 18(6), 571-582. doi:10.1108/SCM-01-2013-0015
- Swafford, P. M., Ghosh, S., & Murthy, N. (2006). The antecedents of supply chain agility of a firm: Scale development and model testing. *Journal of Operations Management*, 24(2), 170-188. doi:[10.1016/j.jom.2005.05.002](https://doi.org/10.1016/j.jom.2005.05.002)
- Swafford, P. M., Ghosh, S., & Murthy, N. (2008). Achieving supply chain agility through IT integration and flexibility. *International Journal of Production Economics*, 116(2), 288-297. doi:[10.1016/j.ijpe.2008.09.002](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.09.002)

- Tarafdar, M., & Qrunfleh, S. (2017). Agile supply chain strategy and supply chain performance: complementary roles of supply chain practices and information systems capability for agility. *International Journal of Production Research*, 55(4), 925-938. doi:10.1080/00207543.2016.1203079
- Thomas, D. J., & Griffin, P. M. (1996). Coordinated supply chain management. *European Journal of Operational Research*, 94(1), 1-15. doi:10.1016/0377-2217(96)00098-7
- Tiwari, A. K., Tiwari, A., Samuel, C., & Bhardwaj, P. (2013). Procurement Flexibility as a Tool for Supplier Selection in Disastrous Environments. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 14(4), 211-223. doi:10.1007/s40171-013-0045-6
- Tse, Y. K., Zhang, M., Akhtar, P., & MacBryde, J. (2016). Embracing supply chain agility: an investigation in the electronics industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, 21(1), 140-156. doi:10.1108/SCM-06-2015-0237
- Tseng, Y.-H., & Lin, C.-T. (2011). Enhancing enterprise agility by deploying agile drivers, capabilities and providers. *Information Sciences*, 181(17), 3693-3708. doi:10.1016/j.ins.2011.04.034
- Tuan, L. T. (2016). Organisational ambidexterity and supply chain agility: the mediating role of external knowledge sharing and moderating role of competitive intelligence. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(6), 583-603. doi:10.1080/13675567.2015.1137278
- Tukamuhabwa, B. R., Stevenson, M., Busby, J., & Zorzini, M. (2015). Supply chain resilience: definition, review and theoretical foundations for further study. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5592-5623. doi:10.1080/00207543.2015.1037934
- Um, J. (2017). Improving supply chain flexibility and agility through variety management. *International Journal of Logistics Management*, 28(2), 464-487. doi:10.1108/ijlm-07-2015-0113
- VanHoek, I., Harrison, A., & Christopher, M. (2001). Measuring agile capabilities in the supply chain. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(1/2), 126-148. doi:10.1108/01443570110358495

- Vanwersch, R. J. B., Shahzad, K., Vanderfeesten, I., Vanhaecht, K., Grefen, P., Pintelon, L., . . . Reijers, H. A. (2016). A Critical Evaluation and Framework of Business Process Improvement Methods. *Business & Information Systems Engineering*, 58(1), 43-53. doi:10.1007/s12599-015-0417-x
- Vázquez-Bustelo, D., Avella, L., & Fernández, E. (2007). Agility drivers, enablers and outcomes: Empirical test of an integrated agile manufacturing model. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(12), 1303-1332. doi:10.1108/01443570710835633
- Verma, A., Jain, V., & Majumdar, A. (2013). *An ISM Approach to Model and Analyze Agility of a Supply Chain: A Case of Fashion Industry*. Communication présentée à 2013 International Symposium on Computational and Business Intelligence (p. 197-203). doi:10.1109/ISCBI.2013.47
- Verma, A. K. (2006). Improving agility of supply chains using base stock model and computer based simulations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(6), 445-454. doi:10.1108/09600030610677393
- Verma, A. K. (2007). Stochastic models for enhancing agility of supply chains. *The International Journal of Applied Management and Technology*, 34.
- Verma, S., Jain, V., & Majumdar, A. (2012). *Modeling an Agile Supply Chain: Research Challenges and Future Directions*, India (p. 277-285).
- Vinodh, S., Devadasan, S. R., Vimal, K. E. K., & Kumar, D. (2013). Design of agile supply chain assessment model and its case study in an Indian automotive components manufacturing organization. *Journal of Manufacturing Systems*, 32(4), 620-631. doi:10.1016/j.jmsy.2013.04.001
- Vinodh, S., Prakash, N. H., & Selvan, K. E. (2011). Evaluation of agility in supply chains using fuzzy association rules mining. *International Journal of Production Research*, 49(22), 6651-6661. doi:10.1080/00207543.2010.535044
- Vinodh, S., & Prasanna, M. (2011). Evaluation of agility in supply chains using multi-grade fuzzy approach. *International Journal of Production Research*, 49(17), 5263-5276. doi:10.1080/00207543.2010.524260

- Vinodh, S., Sundararaj, G., Devadasan, S. R., Maharaja, R., Rajanayagam, D., & Goyal, S. K. (2008). DESSAC: a decision support system for quantifying and analysing agility. *International Journal of Production Research*, 46(23), 6759-6780. doi:10.1080/00207540802230439
- Vinodh, S., & Vimal, K. E. K. (2012). Thirty criteria based leanness assessment using fuzzy logic approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60(9), 1185-1195. doi:10.1007/s00170-011-3658-y
- Vold, E. T. (2005). Expressions of uncertainty in scientific research articles. *Akademisk Prosa*, 3, 113-127.
- Vonderembse, M. A., Uppal, M., Huang, S. H., & Dismukes, J. P. (2006). Designing supply chains: Towards theory development. *International Journal of Production Economics*, 100(2), 223-238. doi:10.1016/j.ijpe.2004.11.014
- Warfield, J. N. (1974). Developing Interconnection Matrices in Structural Modeling. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-4(1), 81-87. doi:10.1109/TSMC.1974.5408524
- Wernham, B. (2012). Agile Project Management for Government Case study: The Success of the FBI Sentinel Project. *The Agile Business Conference*.
- White, A., Daniel, E. M., & Mohdzain, M. (2005). The role of emergent information technologies and systems in enabling supply chain agility. *International Journal of Information Management*, 25(5), 396-410. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2005.06.009
- Wieland, A., & Marcus Wallenburg, C. (2012). Dealing with supply chain risks: Linking risk management practices and strategies to performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 42(10), 887-905. doi:10.1108/09600031211281411
- Wu, C., & Barnes, D. (2010). Formulating partner selection criteria for agile supply chains: A Dempster-Shafer belief acceptability optimisation approach. *International Journal of Production Economics*, 125(2), 284-293. doi:10.1016/j.ijpe.2010.02.010
- Wu, C., & Barnes, D. (2011). A literature review of decision-making models and approaches for partner selection in agile supply chains. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 17(4), 256-274. doi:10.1016/j.pursup.2011.09.002

- Wu, C., & Barnes, D. (2012). A dynamic feedback model for partner selection in agile supply chains. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(1), 79-103. doi:10.1108/01443571211195745
- Wu, C., & Barnes, D. (2018). Design of agile supply chains including the trade-off between number of partners and reliability. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-18. doi:10.1007/s00170-018-2205-5
- Wu, K. J., Tseng, M. L., Chiu, A. S. F., & Lim, M. K. (2017). Achieving competitive advantage through supply chain agility under uncertainty: A novel multi-criteria decision-making structure. *International Journal of Production Economics*, 190, 96-107. doi:10.1016/j.ijpe.2016.08.027
- Xu, H. Q., Besant, C. B., & Ristic, M. (2003). System for enhancing supply chain agility through exception handling. *International Journal of Production Research*, 41(6), 1099-1114. doi:10.1080/0020754021000049826
- Yang, J. (2014). Supply chain agility: Securing performance for Chinese manufacturers. *International Journal of Production Economics*, 150, 104-113. doi:[10.1016/j.ijpe.2013.12.018](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.018)
- Yang, S. L., & Li, T. F. (2002). Agility evaluation of mass customization product manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, 129(1), 640-644. doi:[10.1016/S0924-0136\(02\)00674-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00674-X)
- Yao, M., & Minner, S. (2017). *Review of Multi-Supplier Inventory Models in Supply Chain Management: An Update*: SSRN Electronic Journal.
- Yauch, C. A. (2011). Measuring agility as a performance outcome. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(3), 384-404. doi:10.1108/17410381111112738
- Yu, H., Zeng, A. Z., & Zhao, L. (2009). Single or dual sourcing: decision-making in the presence of supply chain disruption risks. *Omega*, 37(4), 788-800. doi:[10.1016/j.omega.2008.05.006](https://doi.org/10.1016/j.omega.2008.05.006)
- Yusuf, Y. Y., Gunasekaran, A., Adeleye, E. O., & Sivayoganathan, K. (2004). Agile supply chain capabilities: Determinants of competitive objectives. *European Journal of Operational Research*, 159(2), 379-392. doi:[10.1016/j.ejor.2003.08.022](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.08.022)

- Yusuf, Y. Y., Gunasekaran, A., Musa, A., Dauda, M., El-Berishy, N. M., & Cang, S. (2014). A relational study of supply chain agility, competitiveness and business performance in the oil and gas industry. *International Journal of Production Economics*, 147, 531-543. doi:[10.1016/j.ijpe.2012.10.009](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.10.009)
- Yusuf, Y. Y., Musa, A., Dauda, M., El-Berishy, N., Kovvuri, D., & Abubakar, T. (2014). A study of the diffusion of agility and cluster competitiveness in the oil and gas supply chains. *International Journal of Production Economics*, 147, 498-513. doi:[10.1016/j.ijpe.2013.04.010](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.04.010)
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. doi:[10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zellner, G. (2011). A structured evaluation of business process improvement approaches. *Business Process Management Journal*, 17(2), 203-237. doi:[10.1108/14637151111122329](https://doi.org/10.1108/14637151111122329)
- Zhang, F., Ignatius, J., Lim, C. P., & Zhao, Y. (2014). A new method for ranking fuzzy numbers and its application to group decision making. *Applied Mathematical Modelling*, 38(4), 1563-1582. doi:[10.1016/j.apm.2013.09.002](https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.09.002)
- Zhang, Z., & Sharifi, H. (2000). A methodology for achieving agility in manufacturing organisations. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(4), 496-513. doi:[10.1016/S0925-5273\(98\)00217-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00217-5)
- Zou, J., Ahmed, S., & Sun, X. A. (2018). Stochastic dual dynamic integer programming. *Mathematical Programming*, 1-42. doi:[10.1007/s10107-018-1249-5](https://doi.org/10.1007/s10107-018-1249-5)

ANNEXE A – LISTE DE RÉFÉRENCES DE LA REVUE DE LITTÉRATURE SYSTÉMATIQUE SUR L'AGILITÉ DES CHAÎNES LOGISTIQUES

- Tiwari, M. K. (2006). Modeling the metrics of lean, agile and leagile supply chain: An ANP-based approach. *European Journal of Operational Research*, 173(1), 211-225. doi:10.1016/j.ejor.2004.12.005
- Agarwal, A., Shankar, R., & Tiwari, M. K. (2007). Modeling agility of supply chain. *Industrial Marketing Management*, 36(4), 443-457. doi:10.1016/j.indmarman.2005.12.004
- Aitken, J., Christopher, M., & Towill, D. (2002). Understanding, Implementing and Exploiting Agility and Leanness. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 5(1), 59-74. doi:10.1080/13675560110084139
- Al-Shboul, M. A. (2017). Infrastructure framework and manufacturing supply chain agility: the role of delivery dependability and time to market. *Supply Chain Management-an International Journal*, 22(2), 172-185. doi:10.1108/scm-09-2016-0335
- Aronsson, H., Abrahamsson, M., & Spens, K. (2011). Developing lean and agile health care supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(3), 176-183. doi:10.1108/13598541111127164
- Arteta, B. M., & Giachetti, R. E. (2004). A measure of agility as the complexity of the enterprise system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20(6), 495-503. doi:10.1016/j.rcim.2004.05.008
- Baker, P. (2006). Designing distribution centres for agile supply chains. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 9(3), 207-221. doi:10.1080/13675560600859136
- Baker, P. (2008). The design and operation of distribution centres within agile supply chains. *International Journal of Production Economics*, 111(1), 27-41. doi:10.1016/j.ijpe.2006.09.019
- Balaji, M., Velmurugan, V., & Subashree, C. (2015). TADS: An assessment methodology for agile supply chains. *Journal of Applied Research and Technology*, 13(5), 504-509. doi:10.1016/j.jart.2015.10.002

- Baramichai, M., Zimmers, E. W., & Marangos, C. A. (2007). Agile supply chain transformation matrix: an integrated tool for creating an agile enterprise. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(5), 334-348. doi:10.1108/13598540710776917
- Blome, C., Schoenherr, T., & Rexhausen, D. (2013). Antecedents and enablers of supply chain agility and its effect on performance: a dynamic capabilities perspective. *International Journal of Production Research*, 51(4), 1295-1318. doi:10.1080/00207543.2012.728011
- Bottani, E. (2009). A fuzzy QFD approach to achieve agility. *International Journal of Production Economics*, 119(2), 380-391. doi:10.1016/j.ijpe.2009.02.013
- Bottani, E. (2010). Profile and enablers of agile companies: An empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 125(2), 251-261. doi:10.1016/j.ijpe.2010.02.016
- Braunscheidel, M. J., & Suresh, N. C. (2009). The organizational antecedents of a firm's supply chain agility for risk mitigation and response. *Journal of Operations Management*, 27(2), 119-140. doi:10.1016/j.jom.2008.09.006
- Brusset, X. (2016). Does supply chain visibility enhance agility? *International Journal of Production Economics*, 171, 46-59. doi:10.1016/j.ijpe.2015.10.005
- Cabral, I., Grilo, A., & Cruz-Machado, V. (2012). A decision-making model for Lean, Agile, Resilient and Green supply chain management. *International Journal of Production Research*, 50(17), 4830-4845. doi:10.1080/00207543.2012.657970
- Charles, A., Lauras, M., & Van Wassenhove, L. (2010). A model to define and assess the agility of supply chains: building on humanitarian experience. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(8/9), 722-741. doi:10.1108/09600031011079355
- Chiang, C. Y., Kocabasoglu-Hillmer, C., & Suresh, N. (2012). An empirical investigation of the impact of strategic sourcing and flexibility on firm's supply chain agility. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(1), 49-78. doi:10.1108/01443571211195736

- Christopher, M., & Denis, T. (2001). An integrated model for the design of agile supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31(4), 235-246. doi:10.1108/09600030110394914
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the Resilient Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1-14. doi:10.1108/09574090410700275
- Cochran, J. K., & Marquez Uribe, A. (2005). A set covering formulation for agile capacity planning within supply chains. *International Journal of Production Economics*, 95(2), 139-149. doi:10.1016/j.ijpe.2003.11.014
- Collin, J., & Lorenzin, D. (2006). Plan for supply chain agility at Nokia: Lessons from the mobile infrastructure industry. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(6), 418-430. doi:10.1108/09600030610677375
- Costantino, N., Dotoli, M., Falagario, M., Fanti, M. P., & Mangini, A. M. (2012). A model for supply management of agile manufacturing supply chains. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 451-457. doi:10.1016/j.ijpe.2011.08.021
- DeGroote, S. E., & Marx, T. G. (2013). The impact of IT on supply chain agility and firm performance: An empirical investigation. *International Journal of Information Management*, 33(6), 909-916. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2013.09.001
- Drake, P. R., Myung Lee, D., & Hussain, M. (2013). The lean and agile purchasing portfolio model. *Supply Chain Management: An International Journal*, 18(1), 3-20. doi:10.1108/13598541311293140
- Dubey, R., Altay, N., Gunasekaran, A., Blome, C., Papadopoulos, T., & Childe, S. J. (2018). Supply chain agility, adaptability and alignment: Empirical evidence from the Indian auto components industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 38(1), 129-148. doi:10.1108/IJOPM-04-2016-0173
- Dubey, R., & Gunasekaran, A. (2016). The sustainable humanitarian supply chain design: agility, adaptability and alignment. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(1), 62-82. doi:10.1080/13675567.2015.1015511

- Dwayne Whitten, G., Green, K. W., & Zelbst, P. J. (2012). Triple-A supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(1), 28-48. doi:10.1108/01443571211195727
- Eckstein, D., Goellner, M., Blome, C., & Henke, M. (2015). The performance impact of supply chain agility and supply chain adaptability: the moderating effect of product complexity. *International Journal of Production Research*, 53(10), 3028-3046. doi:10.1080/00207543.2014.970707
- Fayezi, S., Zutshi, A., & O'Loughlin, A. (2015). How Australian manufacturing firms perceive and understand the concepts of agility and flexibility in the supply chain. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(2), 246-281. doi:10.1108/IJOPM-12-2012-0546
- Galankashi, M. R., & Helmi, S. A. (2016). Assessment of hybrid Lean-Agile (Leagile) supply chain strategies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(4), 470-482. doi:10.1108/JMTM-08-2015-0069
- Gaudenzi, B., & Christopher, M. (2016). Achieving supply chain 'Leagility' through a project management orientation. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(1), 3-18. doi:10.1080/13675567.2015.1073234
- Giachetti, R. E., Martinez, L. D., Sáenz, O. A., & Chen, C.-S. (2003). Analysis of the structural measures of flexibility and agility using a measurement theoretical framework. *International Journal of Production Economics*, 86(1), 47-62. doi:[10.1016/S0925-5273\(03\)00004-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00004-5)
- Gligor, D. M. (2014). The role of demand management in achieving supply chain agility. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(5/6), 577-591. doi:10.1108/SCM-10-2013-0363
- Gligor, D. M. (2016). The Role of Supply Chain Agility in Achieving Supply Chain Fit. *Decision Sciences*, 47(3), 524-553. doi:10.1111/dec.12205
- Gligor, D. M., Esmark, C. L., & Holcomb, M. C. (2015). Performance outcomes of supply chain agility: When should you be agile? *Journal of Operations Management*, 33-34, 71-82. doi:[10.1016/j.jom.2014.10.008](https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.10.008)

- Gligor, D. M., & Holcomb, M. C. (2012a). Antecedents and Consequences of Supply Chain Agility: Establishing the Link to Firm Performance. *Journal of Business Logistics*, 33(4), 295-308. doi:10.1111/jbl.12003
- Gligor, D. M., & Holcomb, M. C. (2012b). Understanding the role of logistics capabilities in achieving supply chain agility: a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(4), 438-453. doi:10.1108/13598541211246594
- Gligor, D. M., & Holcomb, M. C. (2014). The road to supply chain agility: an RBV perspective on the role of logistics capabilities. *The International Journal of Logistics Management*, 25(1), 160-179. doi:10.1108/IJLM-07-2012-0062
- Gligor, D. M., Holcomb, M. C., & Stank, T. P. (2013). A Multidisciplinary Approach to Supply Chain Agility: Conceptualization and Scale Development. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 94-108. doi:10.1111/jbl.12012
- Goldsby, T. J., Griffis, S. E., & Roath, A. S. (2006). Modeling Lean, Agile, AND Leagile supply chain strategies. *Journal of Business Logistics*, 27(1), 57-80. doi:10.1002/j.2158-1592.2006.tb00241.x
- Herer, Y. T., Tzur, M., & Yücesan, E. (2002). Transshipments: An emerging inventory recourse to achieve supply chain leagility. *International Journal of Production Economics*, 80(3), 201-212. doi:[10.1016/S0925-5273\(02\)00254-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(02)00254-2)
- Ismail, H. S., & Sharifi, H. (2006). A balanced approach to building agile supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(6), 431-444. doi:10.1108/09600030610677384
- Jain, V., Benyoucef, L., & Deshmukh, S. G. (2008a). A new approach for evaluating agility in supply chains using Fuzzy Association Rules Mining. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21(3), 367-385. doi:[10.1016/j.engappai.2007.07.004](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2007.07.004)
- Jain, V., Benyoucef, L., & Deshmukh, S. G. (2008b). What's the buzz about moving from 'lean' to 'agile' integrated supply chains? A fuzzy intelligent agent-based approach. *International Journal of Production Research*, 46(23), 6649-6677. doi:10.1080/00207540802230462

- Khan K, A., Bakkappa, B., Metri, B. A., & Sahay, B. S. (2009). Impact of agile supply chains' delivery practices on firms' performance: cluster analysis and validation. *Supply Chain Management: An International Journal*, 14(1), 41-48. doi:10.1108/13598540910927296
- Kilubi, I. (2016). The strategies of supply chain risk management – a synthesis and classification. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(6), 604-629. doi:10.1080/13675567.2016.1150440
- Kim, M., & Chai, S. (2017). The impact of supplier innovativeness, information sharing and strategic sourcing on improving supply chain agility: Global supply chain perspective. *International Journal of Production Economics*, 187, 42-52. doi:10.1016/j.ijpe.2017.02.007
- Kisperska-Moron, D., & de Haan, J. (2011). Improving supply chain performance to satisfy final customers: “Leagile” experiences of a polish distributor. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 127-134. doi:[10.1016/j.ijpe.2009.12.013](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.12.013)
- Kisperska-Moron, D., & Swierczek, A. (2009). The agile capabilities of Polish companies in the supply chain: An empirical study. *International Journal of Production Economics*, 118(1), 217-224. doi:[10.1016/j.ijpe.2008.08.019](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.019)
- Kumar, V., Mishra, N., Chan, F. T. S., & Verma, A. (2011). Managing warehousing in an agile supply chain environment: an F-AIS algorithm based approach. *International Journal of Production Research*, 49(21), 6407-6426. doi:10.1080/00207543.2010.528057
- Lemieux, A.-A., Pellerin, R., Lamouri, S., & Carbone, V. (2012). A new analysis framework for agility in the fashion industry. *International Journal of Agile Systems and Management*, 5(2), 175-197. doi:10.1504/IJASM.2012.046904
- Li, G., Lin, Y., Wang, S., & Yan, H. (2006). Enhancing agility by timely sharing of supply information. *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(5), 425-435. doi:10.1108/13598540610682444
- Li, X., Chung, C., Goldsby, T. J., & Holsapple, C. W. (2008). A unified model of supply chain agility: the work-design perspective. *International Journal of Logistics Management*, 19(3), 408-435. doi:[10.1108/09574090810919224](https://doi.org/10.1108/09574090810919224)

- Li, X., Goldsby, T. J., & Holsapple, C. W. (2009). Supply chain agility: scale development. *The International Journal of Logistics Management*, 20(3), 408-424. doi:10.1108/09574090911002841
- Lin, C.-T., Chiu, H., & Chu, P.-Y. (2006). Agility index in the supply chain. *International Journal of Production Economics*, 100(2), 285-299. doi:[10.1016/j.ijpe.2004.11.013](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.11.013)
- Mary, M. W. (2002). Measuring supply chain agility in the virtual organization. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(7), 577-590. doi:10.1108/09600030210442595
- Mason, S. J., Cole, M. H., Ulrey, B. T., & Yan, L. (2002). Improving electronics manufacturing supply chain agility through outsourcing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(7), 610-620. doi:10.1108/09600030210442612
- Naim, M. M., & Gosling, J. (2011). On leanness, agility and leagile supply chains. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 342-354. doi:[10.1016/j.ijpe.2010.04.045](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.045)
- Narayanan, S., Narasimhan, R., & Schoenherr, T. (2015). Assessing the contingent effects of collaboration on agility performance in buyer–supplier relationships. *Journal of Operations Management*, 33-34, 140-154. doi:[10.1016/j.jom.2014.11.004](https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.11.004)
- Oh, S., Ryu, K., & Jung, M. (2013). Reconfiguration framework of a supply network based on flexibility strategies. *Computers & Industrial Engineering*, 65(1), 156-165. doi:[10.1016/j.cie.2011.11.016](https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.11.016)
- Oloruntoba, R., & Gray, R. (2006). Humanitarian aid: an agile supply chain? *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(2), 115-120. doi:10.1108/13598540610652492
- Oloruntoba, R., & Kovács, G. (2015). A commentary on agility in humanitarian aid supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(6), 708-716. doi:10.1108/SCM-06-2015-0244
- Pandey, V. C., & Garg, S. (2009). Analysis of interaction among the enablers of agility in supply chain. *Journal of Advances in Management Research*, 6(1), 99-114. doi:[10.1108/09727980910972190](https://doi.org/10.1108/09727980910972190)

- Power, D. J., Sohal, A. S., & Rahman, S.-U. (2001). Critical success factors in agile supply chain management an empirical study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 31(4), 247-265. doi:10.1108/09600030110394923
- Prater, E., Biehl, M., & Smith, M. A. (2001). International supply chain agility - Tradeoffs between flexibility and uncertainty. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(5/6), 823-839. doi:10.1108/01443570110390507
- Purvis, L., Gosling, J., & Naim, M. M. (2014). The development of a lean, agile and leagile supply network taxonomy based on differing types of flexibility. *International Journal of Production Economics*, 151, 100-111. doi:[10.1016/j.ijpe.2014.02.002](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.002)
- Qamar, A., & Hall, M. (2018). Can Lean and Agile organisations within the UK automotive supply chain be distinguished based upon contextual factors? *Supply Chain Management: An International Journal*, 23(3), 239-254. doi:10.1108/SCM-05-2017-0185
- Rahimnia, F., & Moghadasian, M. (2010). Supply chain leagility in professional services: how to apply decoupling point concept in healthcare delivery system. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(1), 80-91. doi:10.1108/13598541011018148
- Samantra, C., Datta, S., Mishra, S., & Mahapatra, S. S. (2013). Agility appraisal for integrated supply chain using generalized trapezoidal fuzzy numbers set. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(5), 1491-1503. doi:10.1007/s00170-013-4937-6
- Sangari, M. S., & Razmi, J. (2015). Business intelligence competence, agile capabilities, and agile performance in supply chain: An empirical study. *The International Journal of Logistics Management*, 26(2), 356-380. doi:10.1108/IJLM-01-2013-0012
- Sangari, M. S., Razmi, J., & Zolfaghari, S. (2015). Developing a practical evaluation framework for identifying critical factors to achieve supply chain agility. *Measurement*, 62, 205-214. doi:[10.1016/j.measurement.2014.11.002](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.11.002)
- Santos Bernardes, E., & Hanna, M. D. (2009). A theoretical review of flexibility, agility and responsiveness in the operations management literature: Toward a conceptual definition of customer responsiveness. *International Journal of Operations & Production Management*, 29(1), 30-53. doi:10.1108/01443570910925352

- Scholten, K., Sharkey Scott, P., & Fynes, B. (2010). (Le)agility in humanitarian aid (NGO) supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(8/9), 623-635. doi:10.1108/09600031011079292
- Shaw , N. E., Burgess, T. F., de Mattos, C., & Stec, L. Z. (2005). Supply chain agility: the influence of industry culture on asset capabilities within capital intensive industries. *International Journal of Production Research*, 43(16), 3497-3516. doi:10.1080/00207540500117805
- Stratton, R., & Warburton, R. D. H. (2003). The strategic integration of agile and lean supply. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 183-198. doi:[10.1016/S0925-5273\(03\)00109-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00109-9)
- Sufian, Q., & Monideepa, T. (2013). Lean and agile supply chain strategies and supply chain responsiveness: the role of strategic supplier partnership and postponement. *Supply Chain Management: An International Journal*, 18(6), 571-582. doi:10.1108/SCM-01-2013-0015
- Swafford, P. M., Ghosh, S., & Murthy, N. (2006). The antecedents of supply chain agility of a firm: Scale development and model testing. *Journal of Operations Management*, 24(2), 170-188. doi:[10.1016/j.jom.2005.05.002](https://doi.org/10.1016/j.jom.2005.05.002)
- Swafford, P. M., Ghosh, S., & Murthy, N. (2008). Achieving supply chain agility through IT integration and flexibility. *International Journal of Production Economics*, 116(2), 288-297. doi:[10.1016/j.ijpe.2008.09.002](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.09.002)
- Tarafdar, M., & Qrunfleh, S. (2017). Agile supply chain strategy and supply chain performance: complementary roles of supply chain practices and information systems capability for agility. *International Journal of Production Research*, 55(4), 925-938. doi:10.1080/00207543.2016.1203079
- Tiwari, A. K., Tiwari, A., Samuel, C., & Bhardwaj, P. (2013). Procurement Flexibility as a Tool for Supplier Selection in Disastrous Environments. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 14(4), 211-223. doi:10.1007/s40171-013-0045-6
- Tse, Y. K., Zhang, M., Akhtar, P., & MacBryde, J. (2016). Embracing supply chain agility: an investigation in the electronics industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, 21(1), 140-156. doi:10.1108/SCM-06-2015-0237

- Tseng, Y.-H., & Lin, C.-T. (2011). Enhancing enterprise agility by deploying agile drivers, capabilities and providers. *Information Sciences*, 181(17), 3693-3708. doi:[10.1016/j.ins.2011.04.034](https://doi.org/10.1016/j.ins.2011.04.034)
- Tuan, L. T. (2016). Organisational ambidexterity and supply chain agility: the mediating role of external knowledge sharing and moderating role of competitive intelligence. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(6), 583-603. doi:[10.1080/13675567.2015.1137278](https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1137278)
- Tukamuhabwa, B. R., Stevenson, M., Busby, J., & Zorzini, M. (2015). Supply chain resilience: definition, review and theoretical foundations for further study. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5592-5623. doi:[10.1080/00207543.2015.1037934](https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1037934)
- Um, J. (2017). Improving supply chain flexibility and agility through variety management. *International Journal of Logistics Management*, 28(2), 464-487. doi:[10.1108/ijlm-07-2015-0113](https://doi.org/10.1108/ijlm-07-2015-0113)
- VanHoek, I., Harrison, A., & Christopher, M. (2001). Measuring agile capabilities in the supply chain. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(1/2), 126-148. doi:[10.1108/01443570110358495](https://doi.org/10.1108/01443570110358495)
- Verma, A. K. (2006). Improving agility of supply chains using base stock model and computer based simulations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(6), 445-454. doi:[10.1108/09600030610677393](https://doi.org/10.1108/09600030610677393)
- Verma, A. K. (2007). Stochastic models for enhancing agility of supply chains. *The International Journal of Applied Management and Technology*, 34.
- Vinodh, S., Prakash, N. H., & Selvan, K. E. (2011). Evaluation of agility in supply chains using fuzzy association rules mining. *International Journal of Production Research*, 49(22), 6651-6661. doi:[10.1080/00207543.2010.535044](https://doi.org/10.1080/00207543.2010.535044)
- Vinodh, S., & Prasanna, M. (2011). Evaluation of agility in supply chains using multi-grade fuzzy approach. *International Journal of Production Research*, 49(17), 5263-5276. doi:[10.1080/00207543.2010.524260](https://doi.org/10.1080/00207543.2010.524260)
- Vinodh, S., Sundararaj, G., Devadasan, S. R., Maharaja, R., Rajanayagam, D., & Goyal, S. K. (2008). DESSAC: a decision support system for quantifying and analysing agility.

- International Journal of Production Research*, 46(23), 6759-6780.
doi:10.1080/00207540802230439
- White, A., Daniel, E. M., & Mohdzain, M. (2005). The role of emergent information technologies and systems in enabling supply chain agility. *International Journal of Information Management*, 25(5), 396-410. doi:[10.1016/j.ijinfomgt.2005.06.009](https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2005.06.009)
- Wieland, A., & Marcus Wallenburg, C. (2012). Dealing with supply chain risks: Linking risk management practices and strategies to performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 42(10), 887-905. doi:10.1108/09600031211281411
- Wu, C., & Barnes, D. (2010). Formulating partner selection criteria for agile supply chains: A Dempster–Shafer belief acceptability optimisation approach. *International Journal of Production Economics*, 125(2), 284-293. doi:[10.1016/j.ijpe.2010.02.010](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.02.010)
- Wu, C., & Barnes, D. (2012). A dynamic feedback model for partner selection in agile supply chains. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(1), 79-103. doi:10.1108/01443571211195745
- Wu, C., & Barnes, D. (2018). Design of agile supply chains including the trade-off between number of partners and reliability. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-18. doi:10.1007/s00170-018-2205-5
- Wu, K. J., Tseng, M. L., Chiu, A. S. F., & Lim, M. K. (2017). Achieving competitive advantage through supply chain agility under uncertainty: A novel multi-criteria decision-making structure. *International Journal of Production Economics*, 190, 96-107. doi:10.1016/j.ijpe.2016.08.027
- Xu, H. Q., Besant, C. B., & Ristic, M. (2003). System for enhancing supply chain agility through exception handling. *International Journal of Production Research*, 41(6), 1099-1114. doi:10.1080/0020754021000049826
- Yang, J. (2014). Supply chain agility: Securing performance for Chinese manufacturers. *International Journal of Production Economics*, 150, 104-113. doi:[10.1016/j.ijpe.2013.12.018](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.018)

- Yang, S. L., & Li, T. F. (2002). Agility evaluation of mass customization product manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, 129(1), 640-644. doi:[10.1016/S0924-0136\(02\)00674-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00674-X)
- Yauch, C. A. (2011). Measuring agility as a performance outcome. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(3), 384-404. doi:10.1108/17410381111112738
- Yusuf, Y. Y., Gunasekaran, A., Adeleye, E. O., & Sivayoganathan, K. (2004). Agile supply chain capabilities: Determinants of competitive objectives. *European Journal of Operational Research*, 159(2), 379-392. doi:[10.1016/j.ejor.2003.08.022](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.08.022)
- Yusuf, Y. Y., Gunasekaran, A., Musa, A., Dauda, M., El-Berishy, N. M., & Cang, S. (2014). A relational study of supply chain agility, competitiveness and business performance in the oil and gas industry. *International Journal of Production Economics*, 147, 531-543. doi:[10.1016/j.ijpe.2012.10.009](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.10.009)
- Yusuf, Y. Y., Musa, A., Dauda, M., El-Berishy, N., Kovvuri, D., & Abubakar, T. (2014). A study of the diffusion of agility and cluster competitiveness in the oil and gas supply chains. *International Journal of Production Economics*, 147, 498-513. doi:[10.1016/j.ijpe.2013.04.010](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.04.010)

ANNEXE B – FORMULAIRE D'ÉVALUATION DE L'AGILITÉ



POLYTECHNIQUE
MONTREAL

Université 
de Montréal

Projet
“Lean Aerospace Value Streams”
(CRIAQ LEAN-501 - NSERC CRDPJ 450685 - 13)

Formulaire d'évaluation de l'agilité

INTRODUCTION

Nous vous remercions de participer à l'*Enquête sur les meilleures pratiques d'agilité* chez ABC. Votre contribution fait une grande différence dans la capacité de l'équipe de recherche à dresser un portrait représentatif du degré d'agilité chez ABC.

Nous sommes convaincus que les réponses apportées par ce projet supporteront de manière complémentaire les efforts actuels d'amélioration de l'agilité déployés chez ABC, et comporteront des bénéfices directs pour vous.

Avant de continuer, veuillez lire attentivement les consignes suivantes :

- ✓ Tous les renseignements recueillis pour cette enquête resteront strictement confidentiels.
- ✓ Nous vous demandons de répondre à chacune des questions au meilleur de votre connaissance.
- ✓ Votre participation au présent projet est volontaire. Vous êtes libre de vous retirer à tout moment sans avoir à motiver votre décision et sans risquer de subir de préjudice. Advenant votre décision de cesser votre participation au présent projet, vous pourrez demander le retrait immédiat des informations que vous aurez fournies.

SECTION 1. OBJECTIF DU QUESTIONNAIRE

L'objectif du questionnaire est d'évaluer l'agilité de l'organisation, cette évaluation est structurée comme suit :

En premier lieu, une évaluation du besoin de l'agilité de l'entreprise en fonction des changements des facteurs-conducteurs, de l'impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs et de l'impact des leviers d'amélioration sur les objectifs. Ceci constitue l'objectif de la section 2.

Deuxièmement, la performance des leviers d'amélioration est évaluée dans la section 3.

Finalement l'interdépendance entre les leviers d'amélioration est évaluée dans la section 4.

SECTION 2. ÉVALUATION DU BESOIN DE L'AGILITÉ**2.1.Évaluation du degré de changement des facteurs-conducteurs**

Au cours des 12 derniers mois, quel est le degré de changement des facteurs suivant ?

C₁ : Changements de la technologie (produit, processus, IT)

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

C₂ : L'introduction de nouvelles technologies

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

C₃ : Variation de la demande des clients en termes de volume

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

C₄ : Variation du délai de livraison

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

C₅ : Les changements des réglementations internationales

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

C₆ : Les fusions et acquisitions

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

C₇ : Les changements des contrats sociaux

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

C₈ : La croissance du marché

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

C₉ : Variation de la qualité des produits approvisionnés

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

C₁₀ : Variation du volume des produits approvisionnés

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

C₁₁ : Variation des délais d'approvisionnement

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

C₁₂ : Changements dans la disponibilité des fournisseurs

Extrêmement bas ☐ Très bas ☐ Bas ☐ Moyen ☐ Haut ☐ Très haut ☐ Extrêmement haut ☐

2.2.Évaluation de l'impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs

Au votre avis, quel est l'impact des objectifs sur les facteurs conducteurs suivant ?

A : Aucune influence

TB : Très basse influence

B : Basse influence

H : Haute influence

TH : Très haute influence

[illegible]

SECTION 3. ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DES LEVIERS D'AMÉLIORATION

Dans votre entreprise, quel est l'état des stratégies suivantes pour faire face à la dynamique de votre environnement industriel ?

L₁ : Stratégies de gestion des approvisionnements (GA)

Pire ☐ Très mauvais ☐ Mauvais ☐ Juste ☐ Bien ☐ Très bien ☐ Excellent ☐

L₂ : Stratégies de gestion de la demande (GD)

Pire ☐ Très mauvais ☐ Mauvais ☐ Juste ☐ Bien ☐ Très bien ☐ Excellent ☐

L₃ : Stratégies de gestion de la production (GP)

Pire ☐ Très mauvais ☐ Mauvais ☐ Juste ☐ Bien ☐ Très bien ☐ Excellent ☐

L₄ : Stratégies de gestion de l'organisation et de l'information (GOI)

Pire ☐ Très mauvais ☐ Mauvais ☐ Juste ☐ Bien ☐ Très bien ☐ Excellent ☐

Dans votre entreprise, à quel point utilisez-vous les technologies d'informations et de communication (L₅) pour faire face à un changement ?

Absent ☐ Très peu ☐ Peu ☐ Moyen ☐ Fréquemment ☐ Beaucoup ☐ Toujours ☐

Dans votre entreprise, comment les systèmes suivants font face aux changements ?

L₆ : Les systèmes de conception et de fabrication

Pire ☐ Très mauvais ☐ Mauvais ☐ Juste ☐ Bien ☐ Très bien ☐ Excellent ☐

L₇ : Les systèmes de planification et de contrôle

Pire ☐ Très mauvais ☐ Mauvais ☐ Juste ☐ Bien ☐ Très bien ☐ Excellent ☐

L₈ : Les systèmes de gestion et d'intégration des bases de données.

Pire ☐ Très mauvais ☐ Mauvais ☐ Juste ☐ Bien ☐ Très bien ☐ Excellent ☐

Dans votre entreprise, à quel point les activités suivantes sont encouragées ?

L₉ : Le partage du savoir-faire

Absent ☐ Très peu ☐ Peu ☐ Moyen ☐ Fréquemment ☐ Beaucoup ☐ Toujours ☐

L₁₀ : L'intégration des compétences

Absent ☐ Très peu ☐ Peu ☐ Moyen ☐ Fréquemment ☐ Beaucoup ☐ Toujours ☐

L₁₁ : La formation et l'éducation des employés

Absent ☐ Très peu ☐ Peu ☐ Moyen ☐ Fréquemment ☐ Beaucoup ☐ Toujours ☐

L₁₂ : Amélioration de la culture d'entreprise (culture au changement)

Absent ☐ Très peu ☐ Peu ☐ Moyen ☐ Fréquemment ☐ Beaucoup ☐ Toujours ☐

ANNEXE C – RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION DE L'AGILITÉ

1. Résultats du membre n°2

Tableau C.1 : Degré de changement des facteurs-conducteurs

Les facteurs-conducteurs	Niveaux des changements	Fonction d'appartenance w_j^2
C_1	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_2	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_3	TH	(0,7; 0,8; 0,9)
C_4	TH	(0,7; 0,8; 0,9)
C_5	B	(0,2; 0,35; 0,5)
C_6	B	(0,2; 0,35; 0,5)
C_7	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_8	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_9	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_{10}	TH	(0,7; 0,8; 0,9)
C_{11}	H	(0,5; 0,65; 0,8)
C_{12}	M	(0,3; 0,5; 0,7)

Tableau C.2 : Impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs

	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	O_8	O_9
C_1	TB	TB	M	TH	H	B	TB	TH	H
C_2	TB	TB	M	TH	H	B	TB	TH	M
C_3	TH	M	H	TH	M	H	TB	TB	M
C_4	H	TH	TH	TH	M	H	TB	TB	M
C_5	M	B	H	H	H	M	H	M	M
C_6	M	B	TB	H	H	M	TH	H	M
C_7	B	TB	H	M	M	M	TB	M	H
C_8	H	TH	TH	TH	TH	TH	B	H	M
C_9	TH	M	M	H	TH	M	M	H	M
C_{10}	TH	M	M	M	H	M	H	B	M
C_{11}	TH	M	M	TH	H	M	H	M	B
C_{12}	TH	M	M	TH	TH	M	TH	B	B

Tableau C.3 : Importance de chaque objectif par rapport à tous les facteurs-conducteurs

L'objectif O_r	L'importance de l'objectif u_r^2
O_1	(0,45; 0,67; 0,87)
O_2	(0,25; 0,46; 0,69)
O_3	(0,4; 0,62; 0,83)
O_4	(0,62; 0,8; 0,95)
O_5	(0,48; 0,69; 0,87)
O_6	(0,34; 0,56; 0,78)
O_7	(0,18; 0,39; 0,62)
O_8	(0,23; 0,45; 0,66)
O_9	(0,28; 0,5; 0,71)

Tableau C.4 : Impact des leviers d'amélioration sur les objectifs

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}
O_1	TH	M	M	TH	H	TB	M	M	B	B	B	H
O_2	H	TH	M	TH	H	TB	M	H	B	B	B	B
O_3	M	TH	TH	TH	H	TB	M	M	B	B	B	B
O_4	H	H	H	TH	TH	TB	TH	TH	M	M	M	M
O_5	H	H	H	TH	TH	TB	TH	M	M	M	M	M
O_6	M	M	M	M	M	H	H	H	M	M	M	M
O_7	TH	TH	TH	TH	TH	TB	TB	B	B	B	B	B
O_8	B	B	B	H	H	H	TH	TH	TH	TH	TH	TH
O_9	H	H	H	TH	TH	M	M	H	M	H	H	TH

2. Résultats du membre n°3

Tableau C.5 : Degré de changement des facteurs-conducteurs

Les facteurs-conducteurs	Niveaux des changements	Fonction d'appartenance w_j^3
C_1	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_2	M	(0,3; 0,5; 0,7)
C_3	TH	(0,7; 0,8; 0,9)
C_4	TH	(0,7; 0,8; 0,9)
C_5	B	(0,2; 0,35; 0,5)
C_6	B	(0,2; 0,35; 0,5)
C_7	TB	(0,1; 0,2; 0,3)
C_8	TB	(0,1; 0,2; 0,3)
C_9	H	(0,5; 0,65; 0,8)
C_{10}	TH	(0,7; 0,8; 0,9)
C_{11}	TH	(0,7; 0,8; 0,9)
C_{12}	H	(0,5; 0,65; 0,8)

Tableau C.6 : Impact des objectifs sur les facteurs-conducteurs

	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	O_8	O_9
C_1	TB	TB	M	TH	H	B	TB	TH	H
C_2	TB	TB	M	TH	H	B	TB	TH	M
C_3	TH	M	H	TH	M	H	TB	TB	M
C_4	H	TH	TH	TH	M	H	TB	TB	M
C_5	B	B	H	H	H	M	H	M	M
C_6	M	B	B	H	H	M	TH	H	M
C_7	B	TB	TH	M	M	M	TB	M	H
C_8	H	TH	TH	TH	TH	TH	M	H	M
C_9	TH	M	M	H	TH	M	M	H	M
C_{10}	TH	M	M	M	H	M	H	B	M
C_{11}	TH	M	M	TH	H	M	H	M	B
C_{12}	TH	M	M	TH	TH	M	TH	B	B

Tableau C.7 : Importance de chaque objectif par rapport à tous les facteurs-conducteurs

L'objectif O_r	L'importance de l'objectif u_r^3
O_1	(0,45; 0,67; 0,87)
O_2	(0,25; 0,46; 0,69)
O_3	(0,4; 0,62; 0,83)
O_4	(0,62; 0,8; 0,95)
O_5	(0,48; 0,69; 0,87)
O_6	(0,34; 0,56; 0,78)
O_7	(0,18; 0,39; 0,62)
O_8	(0,23; 0,45; 0,66)
O_9	(0,28; 0,5; 0,71)

Tableau C.8 : Impact des leviers d'amélioration sur les objectifs

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}
O_1	TH	M	M	TH	H	TB	M	M	B	B	B	H
O_2	M	H	M	TH	H	B	M	H	M	B	B	B
O_3	M	TH	TH	TH	H	TB	M	M	B	B	B	B
O_4	TH	H	H	TH	TH	TB	TH	TH	M	M	M	M
O_5	H	H	TH	TH	TH	TB	TH	M	M	M	M	M
O_6	M	M	M	B	M	H	H	H	M	M	M	M
O_7	H	H	TH	H	H	B	TB	B	B	B	B	B
O_8	B	B	B	H	H	H	TH	TH	TH	TH	TH	TH
O_9	H	H	H	TH	TH	M	M	H	M	H	H	TH

ANNEXE D – PREUVE DE LA PROPOSITION 5.1

Soit Φ_k l'ensemble des états possibles du stock X_k au début de la période k .

Soit Ψ_k l'ensemble des décisions d'approvisionnement possibles U_k

On pose

$$q_k(X_k, (u_k^1, \dots, u_k^F), X_{k+1}) = g_k(u_k^1, \dots, u_k^F) + h_k(X_{k+1}) + b_k(X_{k+1})$$

Pour tout $X_k \in \Phi_k$ et $U_k \in \Psi_k$, nous avons la règle de la dynamique de l'état du stock suivante :

$$X_{k+1} = X_k + U_k - d_k$$

Soit $H_k = (X_1, U_1, \dots, X_k) \in \prod_{i=1}^{k-1} (\Phi_i \times \Psi_i) \times \Phi_k$ l'ensemble de l'historique des décisions jusqu'à la période k .

Soit $h_k = (a_1, b_1, \dots, a_k)$ et soit $U_k = b_k$, nous avons :

$$\begin{aligned} \mathbb{P}(X_{k+1} = i | H_k = h_k, U_k = b_k) &= \mathbb{P}(X_{k+1} = i | X_k = a_k, U_k = b_k) \\ &= \mathbb{P}(X_k + U_k - d_k = i | X_k = a_k, U_k = b_k) \\ &= \frac{\mathbb{P}(d_k = a_k + b_k - i, X_k = a_k, U_k = b_k)}{\mathbb{P}(X_k = a_k, U_k = b_k)} \\ &= \mathbb{P}(d_k = a_k + b_k - i) \end{aligned}$$

Parce que X_k et U_k ne dépendent que des demandes antérieures (d_1, \dots, d_{k-1}) et ces derniers sont indépendants de d_k .

Nous avons $\sum_{i \in \bar{D}_k} \mathbb{P}(d_k = i) = 1$, alors la probabilité d'avoir un état de stock ($X_{k+1} = i$) au début de la période $(k+1)$ ne dépend que de l'état de stock X_k et de la décision d'approvisionnement U_k . Ainsi $\mathbb{E}[q_k(X_k, (u_k^1, \dots, u_k^F), X_{k+1})]$ ne dépend que de l'état de stock X_k et de la décision d'approvisionnement U_k .

D'un autre côté, le service d'approvisionnement décide de la quantité à approvisionner U_k en fonction de l'état de stock X_k , alors $U_k = f_k(X_k)$.

La fonction f_k est la règle de décision du service d'approvisionnement à la période k et la stratégie d'approvisionnement est donnée par $S = (f_1, \dots, f_K)$.

On note X_k^S l'état du stock au début de la période k qui correspond à la stratégie S , ainsi le coût moyen associé à la stratégie S ayant un stock initial ($X_1^S = i$) est donné par :

$$J_1^S(i) = \mathbb{E} \left[\sum_{k=1}^K \left(f_k(r_k^1, \dots, r_k^F) + q_k(X_k^S, f_k(X_k^S), X_{k+1}^S) \right) + C(X_{k+1}) \mid X_1^S = i \right]$$